

# Manual para el control de inundaciones



**GOBIERNO  
FEDERAL**

**SEMARNAT**



**Vivir Mejor**

# **Manual para el control de inundaciones**

Comision Nacional del Agua

## ADVERTENCIA

Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra, sin fines de lucro y citando la fuente.

Esta publicación forma parte de los productos generados por la Subdirección General Técnica cuyo cuidado editorial estuvo a cargo de la Coordinación General de Atención Institucional, Comunicación y Cultura del Agua de la Comisión Nacional del Agua.

Título: Manual para el control de inundaciones

Edición 2011

Autor: Comisión Nacional del Agua  
Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo  
C.P. 04340, Coyoacán, México, D.F.  
Tel. (55) 5174-4000  
www.conagua.gob.mx

Editor: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209 Col. Jardines de la Montaña,  
C.P 14210, Tlalpan, México, D.F.

Impreso en México

Distribución gratuita. Prohibida su venta. Queda prohibido el uso para fines distintos al desarrollo social.

Autores: Dr. Felipe I. Arreguín Cortés, Dr. Michel Rosengaus Moshinsky, Dr. Antonio Acosta Godínez, Ing. Rubén Chávez Guillen, Ing. Mario López Pérez, Ing. Ulrich Hungsberg Engelmann, Ing. Antonio Dávila Capiterucho, Ing. Enrique Mejía Maravilla y M. en I. Horacio Rubio Gutiérrez.  
Compiló: Ing. Jesús Magallanes Patiño.

Acuerdo de Cooperación Técnica  
SEMARNAT / CNA – OMM 2005  
Proyecto de Fortalecimiento del Manejo Integrado del Agua (PREMIA)  
Programa de Trabajo CNA 2009  
Anexo de Ejecución CNA – 4 Partes A y B

## NOTA

Las opiniones, conceptos y recomendaciones expresadas en el presente informe deberán ser consideradas como aquellas del consultor o consultores y no necesariamente como las de la Organización Meteorológica Mundial. Cualquier mención o referencia de productos en el presente informe no deberá ser considerada como un aval de los mismos por parte de la Organización Meteorológica Mundial.

## NOTE

The opinions, concepts and recommendations expressed in the present report should be considered as those of the consultant(s) and are not necessarily those of the World Meteorological Organization. Any mention or reference of products contained in the present report should not be construed as their indorsement by the World Meteorological Organization.

# Contenido

<b>Siglas y acrónimos</b> .....	<b>III</b>
<b>Resumen Ejecutivo</b> .....	<b>V</b>
<b>Capítulo 1</b>	
<b>Recopilación de la información y análisis</b> .....	<b>1</b>
1.1 Programa general para el control de inundaciones .....	1
1.2 Recopilación y análisis de la información.....	3
1.3 Información geográfica .....	4
1.4 Meteorología e hidrología.....	9
1.5 Planes de desarrollo de emergencia, de control de inundaciones, de protección civil, de atención a la salud.	19
1.6 Leyes y normas (FONDEN, zonas federales) .....	32
1.7 Impactos ambientales .....	48
1.8 Glosario de términos .....	54
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Modelos hidráulicos</b> .....	<b>57</b>
2.1 Estudios meteorológicos.....	57
2.2 Estudios hidrológicos .....	65
2.3 Estudios potamológicos.....	86
2.4 Estudios para el control de avenidas.....	90
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Propuesta de alternativas</b> .....	<b>97</b>
3.1 Propuesta de alternativas .....	97
<b>Capítulo 4</b>	
<b>Productos finales</b> .....	<b>119</b>
4.1 Programa de seguridad de presas, cauces y otras estructuras .....	119
4.2 Programas ambientales.....	126
4.2.1 Plan de salud .....	135
4.2.2 Asentamientos humanos .....	136
4.3 Programa de rectificación de cauces.....	140
4.4 Programas de comunicación y sistemas de alerta .....	143
4.5 Planes de emergencia .....	169
4.6 Programas de reubicación.....	186
4.7 Programa de drenaje pluvial .....	190
4.8 Aseguramiento de la infraestructura .....	192
4.9 Programa de convivencia con las inundaciones.....	194

4.10 Manejo de cuencas .....	203
4.11 Efectos del cambio climático e impulso a la ciencia y tecnología .....	207
4.12 Ciclones tropicales .....	226
4.12 Recomendaciones de ordenamiento territorial y coordinación institucional .....	240

## Anexos

Anexo 1. Cobertura cartográfica.....	245
Anexo 2. Lineamientos cartográficos .....	246
Anexo 3. Recomendaciones para usar <i>software</i> ArcGIS en la elaboración de mapas .....	251
Anexo 4. Obtención de coordenadas mediante dispositivos GPS .....	253
Anexo 5. Especialistas en SIG de la CONAGUA .....	254
Anexo 6. Equipos de geoposicionamiento disponibles.....	256
Anexo 7. Equipo de cómputo recomendable para el manejo de información geográfica.....	257
Anexo 8. <i>Software</i> necesario para el manejo de información geográfica .....	258
Anexo 9. Ejemplo de procesamiento de series de tiempo de valores extremos.....	259
Anexo 10. Descripción del producto BANDAS.....	267
Anexo 11. Descripción de la base de datos climatológica, administrada con CLICOM.....	268
Anexo 12. Descripción del Sistema de Información Hidroclimatológica .....	275
Anexo 13. Descripción del producto MAYA v1.0 .....	277
Anexo 14. Atlas de riesgo para zonas de inundación .....	283
Anexo 15. Marco legal del FONDEN y FOPREDEN .....	284
Anexo 16. Zonas Federales .....	295
Anexo 17. Conceptos básicos en ingeniería de presas.....	302
Anexo 18. Anomalías a detectar durante la inspección de una presa .....	306
Anexo 19. Caracterización de cauces y sistemas fluviales .....	308
Anexo 20. Competencia de los municipios y análisis de leyes federales.....	315
Anexo 21. Análisis de las leyes estatales de protección civil .....	319
Anexo 22. Acciones antes, durante y después de una inundación .....	324

# Siglas y acrónimos

Acrónimo		Descripción	
Inglés	Español	Inglés	Español
BANDAS	BANDAS	National Surface Water Databank of Mexico	Banco Nacional de Datos Aguas Superficiales
GPACC	CAPAH	Gatering, Process and Alert Climatological Center	Centro de Acopio, Proceso y Alerta Hidroclimatológica
CETENAL	CETENAL	National Territory Survey Commission	Comisión de Estudios del Territorio Nacional
FEC	CFE	Federal Electricity Commission (of Mexico)	Comisión Federal de Electricidad
NWC	CNA	National Water Commission (of Mexico)	Comisión Nacional del Agua
OC	CO	Organization Committee	Comité Organizador
COTAS	COTAS	Waterground Technical Committee	Comité Técnico de Aguas Subterráneas
LO	DL	Local Offices of NWC	Direcciones Locales
UNDRIS	EIRD/ONU	United Nations of Disaster Reduction International Strategy	Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de los Desastres
TICEA	EWI III	Third International Conference of Early Alert	Tercera Conferencia Internacional sobre Alerta Temprana
FAO	FAO	Food and Agricultural Organizations	Organización para la Alimentación y la Agricultura
RCRHMISF	FICR	Red Cross & Red Half Moon International Societys Federations	Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja
NDF	FONDEN	Natural Disaster Fund	Fondo de Desastres Naturales
NDPNF	FOPREDEN	Natural Disaster Prevention Nacional Fund	Fondo Nacional de Prevención de Desastres Naturales
GPS	GPS	Global Positioning System	Geoposicionamiento Satelital
MIWT	IMTA	Mexican Institute of Water Technology	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
SGCNI	INEGI	Statistics, Geography and Computer Nacional Institute	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
SM	MC	Society Members	Miembros de la comunidad
BO	OC	Basin Organism	Organismos de Cuenca
HACOSUN	OCAH	Humanitary Affaire Coordination Office of the Secretary of United Nations	Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de la Secretaría de las Naciones Unidas
ODBC	ODBC	Open Database Connectivity	Conectividad abierta de bases de datos
WMO	OMM	World Meteorological Organization (of the UN)	Organización Meteorológica Mundial
NGO	ONG	Non Government Organization	Organización no gubernamental
NU	ONU	Unten Nations	Organización de las Naciones Unidas
PC	PC	Personal Computer	Computador Personal
DCP	PCD	Data Collection Platform	Plataforma colectora de datos
FCP	PCI	Flood Control Program	Programa de Control de Inundaciones

Acrónimo		Descripción	
Inglés	Español	Inglés	Español
GIS	SIG	Geographical Information System	Sistema de Información Geográfica
UNPNUMADP	PNUMA	United Nations PNUMA Development Program (United Nations Environment Program)	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
EAUTIPP	PPAT	Early Alert UTI Promotion Platform	Plataforma para la Promoción de Alerta Temprana UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones)
PREMIA	PREMIA	Proyect to Strenghten Integraded Water Resources Management in Mexico	Proyecto de Fortalecimiento del Manejo Integrado del Agua en México
EAS	SAT	Early Alert System	Sistema de Alerta Temprana
DPNC	CENAPRED	Disaster Prevention Nacional Center	Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaria de Gobernación, México
WGIVM	SIGA	Water Geographical Information Vice Manager	Subgerencia de Información Geográfica del Agua
NMS	SMN	National Meteorological Service of Mexico	Servicio Meteorológico Nacional
NUAM	UNAM	National University Autonomous of Mexico	Universidad Nacional Autónoma de México
UNESCO	UNESCO	United Nations of Education, Science and Culture Organization	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNOSAT	UNOSAT	Unated Nations Initiative to offer satelital images acces and geographycal information systems to the Humanitary Organizations	Iniciativa de las Naciones Unidas para ofrecer acceso a imágenes de satélite y a servicios de sistemas de información geográfica a las organizaciones humanitarias
UNU-EHS	UNU-EHS	United Nations University – Environment and Human Security	Instituto del Medio Ambiente y Seguridad Humana de la Universidad de las Naciones Unidas

# Resumen Ejecutivo

A través de su historia, México se ha visto azotado por la inclemencia de los fenómenos meteorológicos, de manera que ya nuestros antepasados, los habitantes de México – Tenochtitlan, sufrieran repentinos aumentos en el nivel de sus lagos, y la consecuente inundación de las áreas productivas.

En épocas recientes, se han presentado fenómenos meteorológicos con una intensidad inusual, que han dejado una huella imborrable en los que los vivieron de cerca, por los destrozos provocados. Nadie puede olvidar el huracán “Gilberto” que con intensas lluvias generó grandes avenidas en la zona Noreste del país, principalmente en el estado de Nuevo León o “Pauline”, que descargó más de 400 mm en unas cuantas horas, en la Costa Grande de Guerrero y parte de Oaxaca, o las inundaciones que en el año 2007, provocaron una gran inundación en el estado de Tabasco.

Estas experiencias dejan muy claro que a pesar de los esfuerzos realizados a la fecha para enfrentar de una manera ventajosa a fenómenos de esta naturaleza, es necesario trabajar arduamente en las actividades de prevención para que los fenómenos mencionados provoquen los menores daños posibles.

Hay que aclarar que desde los sismos de 1985 en la Ciudad de México, en el país se ha venido avanzando en la organización de los cuerpos de apoyo a la población tanto en el sector gubernamental como en el privado.

Por ello, Felipe I. Arreguín Cortés, Michell Rosengauss Moshinsky, Ulrich Hunsberg Engelman, Mario López Pérez, Horacio Rubio Gutiérrez, Antonio Dávila Capiterucho, Enrique Mejía Maravilla, todos ellos de la Comisión Nacional del Agua, elaboraron la primera versión de este documento denominado “Manual Para el Control de Inundaciones”.

Este manual pretende ser una herramienta esencial en tres aspectos:

Primero, para que el personal técnico que tiene a su cargo la preparación de la información de los fenómenos naturales, su origen, evolución y consecuencias conozca y aplique de ser necesario, técnicas de análisis adecuadas, los equipos de medición existentes y sobre todo,

la importancia de la oportunidad en la disponibilidad de información básica.

El personal técnico involucra a los tres órdenes de gobierno: federal, estatal y municipal, que participan en la preparación de la información de los fenómenos naturales, su origen, evolución y consecuencias, etc.

Segundo, para que el personal responsable de los programas de apoyo a la población (Brigadas de Protección Civil, Direcciones Estatales y Municipales de Protección Civil, Ejército, Armada de México, etc.), conozca los elementos disponibles para la toma de decisiones oportuna que pueda salvar vidas humanas.

También pretende apoyar al personal del más alto nivel a cargo de los operativos de atención de las emergencias por inundaciones, mediante la relación de puntos por verificar para una atención satisfactoria de una inundación. Y por último a ingenieros y público en general interesados en el tema.

El manual está organizado en cuatro partes: En la primera, se presenta el panorama referente a la información necesaria y disponible para la atención de una emergencia por inundación, incluyendo información geográfica, meteorológica, hidrológica e hidrométrica, pero también acerca de la información de la infraestructura que permita prevenir daños a la misma o facilitar su reparación en caso necesario, así como de los planes, programas y atlas de riesgo existentes que faciliten la organización de la atención a las emergencias mencionadas.

En la segunda, denominada “Modelos Hidráulicos”, se presentan los estudios necesarios en aquellas zonas detectadas como “inundables”, que proporcionan información sobre las magnitudes de las lluvias que se pueden presentar y los escurrimientos asociados, su relación con el entorno ecológico, así como los posibles cambios en el comportamiento del escurrimiento de una cuenca cuando se modifican las características de la misma por efecto de la actividad del hombre.

En la tercera parte, se proponen alternativas para el control de las inundaciones, desde las clásicas soluciones estructurales como la construcción de presas, drenado de cauces o la construcción de bordos longitudinales, hasta las no estructurales como la elaboración de sistemas de alerta temprana, planes de desarrollo urbano incluyendo el ordenamiento territorial de las zonas urbanas, etc., todo ello para hacer más efectivo el manejo de las inundaciones.



En la cuarta y última se presentan los diferentes programas que deberían existir en todas las zonas inundables para contar con un mejor control de las inundaciones, que incluyen los programas de seguridad de presas, cauces y otras estructuras, los programas ambientales, programas de comunicación y sistemas de alertamiento, programas de reubicación, de manejo de cuencas, de aseguramiento de las estructuras y probablemente uno de los más importantes de todos, el programa de convivencia con las inundaciones, que pretende enseñar al hombre a convivir con la naturaleza en especial con las zonas inundables, en lugar de tratar de modificar la misma con soluciones complejas y costosas y finalmente, el plan de atención de una emergencia.

Por último, se presenta el resultado de un análisis de las leyes de Protección Civil y de las Leyes de Asentamientos Humanos y Desarrollo Urbano estatales o equivalentes así como una serie de recomendaciones a las legislaturas de los estados para modificar algunos aspectos de dichas leyes, y resaltar la importancia del ordenamiento territorial como parte fundamental de la prevención de daños y pérdidas de vidas humanas durante una inundación.

# Capítulo 1

## Recopilación de la información y análisis

### 1.1 Programa general para el control de inundaciones

Debido a sus condiciones geográficas, México experimenta el embate de una gran variedad de fenómenos naturales, entre ellas fenómenos hidrometeorológicos, tales como ciclones tropicales, frentes fríos, entrada de aire húmedo, los cuales pueden ocasionar lluvias intensas que pueden provocar inundaciones, deslaves u otros efectos de esta naturaleza.

Por otro lado, también enfrenta problemas que se podrían denominar no estructurales, tales como: **ambientales**, entre los que se pueden citar la deforestación, obstrucción o desvío natural de cauces, cambio en el régimen de escurrimiento, cambio climático; **técnicos**, como la pérdida de capacidad del personal para identificar, evaluar y determinar los riesgos producidos por corrientes fluviales, aludes, o flujos con una alta concentración de lodos, así como la falta de planes de atención a emergencias y programas de prevención y apoyo; **legales**, como el ordenamiento territorial y la administración de riesgos por inundaciones, la contratación de seguros contra desastres naturales y el establecimiento de reglamentos de construcción más severos; y **políticos**, pues

aunque en varias leyes existen criterios adecuados en cuanto al ordenamiento territorial, ha faltado voluntad política para enfrentar la problemática que la reubicación presenta.

Esto ocasiona que las inundaciones se conviertan en un problema extraordinario, debido a que su frecuencia de ocurrencia es mayor a la permanencia de las autoridades municipales y/o estatales, y éstas no lo visualizan con la importancia debida dentro del plazo de su encargo, por lo que toman decisiones sin evaluar los efectos en el mediano y largo plazos (como permitir construcciones en zonas inundables).

Por ello, Felipe I. Arreguín Cortés, Michell Rosengauss Moshinsky, Ulrich Hunsberg Engelman, Mario López Pérez, Horacio Rubio Gutiérrez, Antonio Dávila Capiterucho, Enrique Mejía Maravilla, todos ellos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), elaboraron la primera versión de este documento denominado “Manual para el control de inundaciones”.

El presente Manual se dividió en 4 capítulos:

1. Recopilación y análisis de información
2. Modelos hidráulicos
3. Propuesta de alternativas
4. Productos finales

El capítulo 1 (Recopilación y análisis de información), incluye los temas: cartografía; meteorología e hidrología; planes de desarrollo, de emergencia, de control de inundaciones, de protección civil, de atención a la salud; leyes y normas e impactos ambientales tales como deforestación e invasiones a zonas inundables.

Este capítulo, corresponde a la información existente a la fecha, por ejemplo, la cartografía del INEGI de todo el territorio nacional), escala 1:50,000 y 250,000 con todas sus variantes, en formato impreso y digital y los modelos digitales de elevación con resolución de 1 arcseg de grado, que en nuestra latitud equivale aproximadamente a 29.3 m.

Ortofotos digitales de 50 cm de resolución, así como su cartografía digital escala 1:5000 (manzanas, curvas de nivel, hidrografía, uso del suelo) sólo de las principales ciudades del país; en el resto, la resolución es menor. Imágenes de satélite, radar, percepción remota y levantamientos aerofotogramétricos de cauces y zonas inundables.

Estudios de análisis de riesgo geológico y por inundación. Información meteorológica, estadística y en tiempo real. Relación de corrientes problemáticas y planes de emergencias elaborados.

En el capítulo 2, se exponen de manera sucinta los diferentes tipos de estudios necesarios para un buen control de inundaciones, como los hidrológicos, incluyendo la determinación de gastos de diseño para proyectos de obras, estudios para el control de avenidas, funcionamiento hidrológico de presas, dimensionamiento de obras hidráulicas (presas, bordos, entre otros), modelos hidrológicos (lluvia escurrimiento, tránsitos de avenidas). Información sobre revisión y autorización de proyectos de infraestructura hidráulica, estructuras de cruces de ríos (puentes carreteros y de ferrocarril). Cruces de ríos por tuberías que conducen hidrocarburos. Canalizaciones, encauzamientos y rectificación de cauces en centros de población y zonas productivas.

En el capítulo 3 (propuesta de alternativas), se exponen los estudios, obras específicas y acciones no estructurales enfocados a prevenir o proteger contra inundaciones como las presas, rectificaciones y encauzamientos para proteger zonas urbanas, proyectos para reducir los niveles de avenidas en corrientes y rehabilitación, desincorporación y mantenimiento de drenes pluviales, establecimiento de sistemas de alerta temprana, entre otros.

El capítulo 4 (productos finales), comprende los programas base para las acciones requeridas para la atención de las emergencias, tales como el programa de seguridad de presas, cauces y otras estructuras, el programa de rectificación de cauces y construcción de obras de protección; programas ambientales como el de reforestación, de recuperación de suelos, de manejo de cuencas y efectos del cambio climático; el programa de salud; planes de comunicación y sistemas de alertamiento; planes de emergencia, programa de reubicación, programa de drenaje pluvial, programas de aseguramiento de la infraestructura, programas de convivencia con las inundaciones, entre otros. Además se incluye un apartado que contiene recomendaciones de ordenamiento territorial, de coordinación interinstitucional, de la cultura de prevención de desastres y de índole financiera cuya inclusión sería conveniente en algunas leyes estatales de desarrollo urbano y/o de asentamientos humanos y de protección civil y cultura de prevención.

## 1.2 Recopilación y análisis de la información

Con el fin de facilitar la toma de decisiones para la atención de inundaciones en centros de población o áreas productivas, resulta deseable contar con programas de atención de emergencias. Sin embargo, en la mayoría de los casos no se tienen dichos programas, por lo que resulta indispensable elaborar un inventario de las zonas potencialmente inundables.

De acuerdo con el artículo 83 de la Ley de Aguas Nacionales, los Organismos de Cuenca (OC) o Direcciones Locales (DL) deberán clasificar las zonas en atención a sus riesgos de posible inundación, utilizando la cartografía disponible (planes de desarrollo urbano o de asentamientos humanos, cartas topográficas del INEGI, ortofotos, fotografías aéreas, modelos digitales de elevación, etcétera) y posteriormente utilizar un *software* que permita ubicar y georreferenciar la infraestructura existente, asentamientos humanos, y ríos o arroyos, para realizar el trabajo deseado.

Asimismo, deben integrarse a lo anterior bases de datos que contengan información referente a:

- Características de la zona de población o áreas productivas propensas a las inundaciones: infraestructura urbana (tipos de vivienda), vías de comunicación, escuelas, hospitales y demás infraestructura que en casos de emergencia puedan utilizarse como albergues, centros de acopio y rutas de evacuación.
- Sistemas de alerta.
- Inundaciones registradas señalando gastos estimados, huellas de las avenidas (tirantes de agua y superficie inundada), así como los daños ocasionados.
- Infraestructura hidráulica como presas, acueductos, sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento, bordos y demás obras de protección fluvial y contra inundaciones, aprovechamientos de aguas superficiales y subterráneas. De esta información, principalmente la referente a los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, es difícil de obtener en las comunidades medianas y pequeñas, por lo que es conveniente solicitar con tiempo a los responsables de la operación de los sistemas, su obtención o actualización.

- Infraestructura de medición hidrométrica y climatológica como estaciones hidrométricas, climatológicas y meteorológicas, entre otras.
- Ubicación de las vías de comunicación como caminos, vías férreas y estructuras de cruce (puentes o alcantarillas, terraplenes longitudinales o transversales) con el fin de determinar su efecto en el escurrimiento ya que en muchas ocasiones influyen en la generación de inundaciones.
- Delimitación del cauce y su zona federal o y de ser el caso señalar si está invadida por asentamientos irregulares.
- Características hidrológicas de la cuenca, incluyendo cual es el grado de mantenimiento de los cauces (vegetación o basura).
- Fisiografía regional, relieve topográfico (zonas intermontanas o llanuras, zonas lagunarias, entre otras).
- Proyectos de obras de protección contra inundaciones.
- Debe indicarse si en los centros de población, los gobiernos estatales o municipales cuentan con programas de desarrollo urbano o asentamientos humanos, así como los reglamentos de construcción. Y delimitar el nivel de responsabilidad que tienen las dependencias de los gobiernos estatales y municipales involucradas en la prevención de riesgos por inundaciones.
- Directorio con la información de las dependencias de los tres niveles de gobierno que deben intervenir en la atención de emergencias. En este directorio se debe integrar también los datos de los líderes naturales de la zona, colonia o barrio, si los hubiere.
- Programa de seguridad de presas.

Toda esta información, deberá verificarse mediante reconocimientos a los sitios potencialmente inundables.

Referente a los proyectos de nuevas obras de protección o de cruce (presas de control de avenidas, presas de control de azolves, bordos, muros, espigones, rectificación de cauces, protecciones marginales, puentes, alcantarillas, entre otros), se deberán llevar a cabo los estudios básicos (topografía, hidrología, hidráulica, geotecnia, geología, impacto ambiental, anteproyectos de obras) y los proyectos ejecutivos. En todos los casos los proyectos relacionados con los cauces invariablemente deberán contar con el visto bueno de la Comisión Na-

cional del Agua para emitir los permisos de construcción correspondientes en caso de ser procedentes.

El CENAPRED elabora el denominado Atlas Nacional de Riesgos y opera el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC); que brindan apoyo de las autoridades de protección civil en la toma de decisiones para implantar medidas de prevención de desastres, evaluar pérdidas humanas, atender necesidades de una emergencia derivadas de la ocurrencia de un fenómeno, entre otros.

## 1.3 Información geográfica

### Antecedentes

Actualmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la cartografía digital y sus diversos productos son herramientas de uso común en todos los ámbitos y, en particular, en la administración de los recursos naturales, como los hídricos.

Tradicionalmente, en la gestión de los recursos hídricos ha sido práctica obligada y común, en todas sus etapas, representar gráficamente los resultados de los estudios básicos, los proyectos, las obras y todos sus aspectos asociados, utilizando, mapas, planos fotografías y esquemas que permitan visualizar en forma rápida y objetiva el marco físico, el desarrollo y la infraestructura existente, el esquema conceptual de los proyectos o la ocurrencia de los eventos hidrológicos, entre otros aspectos.

Con el espectacular desarrollo de los SIG, los equipos de Geoposicionamiento Global (GPS) y las herramientas computacionales, es viable ahora el manejo más ágil de la información, su representación geográfica en marcos georreferenciados, el almacenamiento y la integración de los datos básicos, su procesamiento, despliegue en una amplia variedad de modalidades, su correlación con otros temas afines, todo lo cual se



traduce en la rápida disponibilidad de material claro y objetivo para la toma de decisiones, especialmente en situaciones de contingencia a consecuencia de fenómenos meteorológicos extremos.

En particular, cuando se trata de inundaciones generadas por fenómenos como ciclones tropicales, frentes fríos, entrada de aire húmedo, los cuales pueden ocasionar lluvias torrenciales, desbordamiento de cauces, sismos, fallas de infraestructura hidráulica u otros eventos análogos, es necesario disponer de información oportuna y suficiente para analizar la vulnerabilidad de la región de que se trate ante inundaciones, las zonas potenciales de mayor riesgo, las poblaciones, desarrollos e infraestructura que han sido o podrían ser afectados por aquéllos, con el fin de diseñar e instrumentar las acciones preventivas o correctivas pertinentes. Entonces resulta de gran utilidad contar con el material gráfico confiable y las herramientas que permitan analizar, con la premura del caso, la mayor cantidad de información en forma objetiva y en el menor tiempo posible.

Por todo lo anterior, todo Programa de Control de Inundaciones (PCI), debe incluir, como parte imprescindible, un apartado relativo a la información geográfica.



En esta materia, todo PCI deberá establecer los lineamientos para obtener, procesar, integrar, correlacionar y desplegar la información geográfica necesaria para apoyar la atención de contingencias de esa naturaleza, con la urgencia que éstos reclaman y con los enfoques requeridos para su análisis técnico especializado, para la toma de decisiones en los niveles ejecutivo y operativo, para dar seguimiento a las acciones y dar a conocer al público,

en general, los riesgos y los daños ocasionados por los eventos referidos.

## Información requerida para elaborar el PCI

Con fines preventivos, sobre todo en las regiones expuestas por naturaleza a los eventos referidos, es importante que se emprendan oportunamente las acciones enumeradas en el PCI, de manera que, cuando se llegara a presentar un evento de ese tipo, se dispusiera ya de los elementos para afrontarlo, ahorrando un tiempo valioso que se traducirá en la salvación de vidas humanas y bienes.

Por lo que se refiere a la información geográfica, es conveniente obtener los elementos necesarios para desarrollar un SIG particular del PCI de que se trate, alimentado por las bases de datos generales ya disponibles e interconectado con otros sistemas afines, con el propósito de que los niveles centrales, regionales y estatales de la CONAGUA y las demás partes involucradas en el problema (gobiernos estatales y municipales, SEGOB y otras) dispongan, en un momento dado, de material homogéneo para interactuar dentro de sus respectivas competencias.



Es importante destacar que no es necesario “partir de cero” en el desarrollo de un SIG o en la búsqueda de la información geográfica y de las herramientas informáticas antes referidas, pues la Subgerencia de Información Geográfica del Agua y otras unidades de la propia CONAGUA (Hidroagrícola, Técnica, Agua Potable, Administración del Agua, Programación, Organismos de Cuenca (OC), Direcciones Locales (DL), entre otros), así como otras



dependencias (SEMARNAT, INEGI, etcétera), como parte de sus funciones, han llevado a cabo esa tarea con diversos objetivos, desde hace varios años, de manera que, en este sentido, la labor por parte de los OC y DL para los fines de la preparación de sus PCI, consistirá en la consulta y obtención anticipada de la información geográfica existente, de la infraestructura informática disponibles y de la adaptación a su contexto particular.

Sin embargo, como complemento, puede ser necesario recabar u obtener en otras fuentes, información específica de las localidades que sean de interés para los PCI.



Es importante considerar a qué y a quiénes se va a destinar la información, a fin de que ésta sea presentada en forma objetiva y comprensible para los usuarios. En todo caso, es recomendable consultar las experiencias que se han tenido en otros eventos recientes de ese tipo, tanto en la propia jurisdicción del OC y de la DL que están afrontando el problema, como en las de otras unidades homólogas. Para facilitar esta consulta posterior, de experiencias anteriores, es importante que en el curso del evento se obtenga y ordene, en lo posible “a tiempo real”, información “fresca” para dejar documentado el evento, sin que ésta quedara dispersa y sólo en la memoria de quienes intervinieron en su atención. Para ello, es conveniente que durante cada evento, se nombre a un responsable de llevar una bitácora detallada del mismo para documentar sus características y dejar constancia de la información utilizada y generada.

Específicamente, es conveniente recopilar e integrar la información siguiente:

#### a) Información geográfica

- **Cartografía digital.** Actualmente se dispone de las cartas topográficas elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática (INEGI) en escalas: 1:250,000, 1:50,000, 1:20,000 y 1:5,000, para análisis en los ámbitos regional, estatal y local, respectivamente. También se cuenta con las cartas temáticas de geología, uso del suelo, vegetación, hidrología y humedales en escala 1:250,000.
- **Inundaciones.** Cartografía con las zonas inundables registradas en años anteriores.
- **Imágenes de satélite.** Existen imágenes de diferentes sensores como: Landsat y Spot con coberturas de todo el país para diferentes años, resoluciones y espectros del infrarrojo.
- **Ortofotos digitales.** Con cobertura de todo el país en escala 1:20,000.
- **Modelos digitales de elevación.** Están disponibles en resoluciones de 90 metros (escala 1:250,000) y de 20 metros (escala 1:50,000) para toda la República Mexicana.



En el [Anexo 1](#) se enumeran las coberturas geográficas y las escalas de la cartografía digital, imágenes de satélite, ortofotos digitales y modelos digitales de elevación, disponibles en la SIGA; adicionalmente, en el [Anexo 2](#) se presentan los lineamientos para la elaboración y uso de la cartografía digital.

Cabe mencionar que los insumos cartográficos se han publicado en la Intranet y están disponibles, a través de la Red Nacional de Datos de la CONAGUA, para sus empleados. En paralelo, se ha distribuido una copia de la

información geográfica a las unidades del SIGA en cada OC. La misma información puede ser proporcionada, atendiendo a una solicitud de los interesados, a través de correo electrónico o de un medio optomagnético.

- **Cartografía en papel.** No se debe descartar la posibilidad de utilizar la cartografía en papel producida por otras instancias públicas o privadas, que pueda enriquecer el acervo digital cartográfico y ser útil para los fines del PCI, previa digitalización y georreferenciación, para que sea incorporada al acervo digital, en especial cuando exista la posibilidad de que falle el suministro de energía eléctrica.
- **Planos en formato Autocad.** No se consideran mapas aquellos croquis o planos que son elaborados con Autocad, debido a que utilizan un sistema cartesiano (x, y), con origen arbitrario, sin embargo, en caso de que sean las únicas fuentes de información, se deben mantener hasta que se realice la conversión a los formatos compatibles con el PCI. En el [Anexo 3](#) se detallan las razones para usar el formato *shape* en la elaboración y manejo de mapas.

#### **b) Información climatológica y meteorológica**

Trayectorias de huracanes, distribución espacial y temporal de lluvias torrenciales, ubicación de estaciones meteorológicas y climatológicas con sus registros históricos, así como de radares meteorológicos.

#### **c) Información hidrológica**

Serán particularmente importantes las capas de la carta topográfica correspondientes a la ubicación de cuerpos de agua (mar, lagos, lagunas, presas, humedales, manglares); ubicación y características de las corrientes superficiales. También será necesario tener la ubicación y registros históricos de las estaciones hidrométricas; y por supuesto la delimitación de Regiones Hidrológico-Administrativas y cuencas (regiones y subregiones hidrológicas).

#### **d) Desarrollos e infraestructura**

Infraestructura urbana, industrial, agrícola, de comunicaciones (carreteras, caminos, vías férreas, puertos, aeropuertos); fuentes de abastecimiento de agua; plantas potabilizadoras y de tratamiento de agua y usos del suelo.

#### **e) División territorial**

- **Política.** Municipal, estatal, nacional y; en su caso, internacional.
- **Hidrológica.** Regiones y subregiones hidrológicas en escala 1:250,000.
- **Hidrológico-Administrativas.** Organismos de Cuenca (1.3), Consejos de Cuenca, Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS).

#### **f) Impacto potencial y real del evento**

Superficie, población, infraestructura o desarrollos afectados o afectables, indicando sus características en términos cuantitativos y su ubicación geográfica.

Coordenadas de sitios y elementos de interés (presas, estaciones de medición, y zonas inundadas). Se recomienda seguir los lineamientos fijados para la obtención de coordenadas con receptores GPS, indicados en el [Anexo 4](#).



#### **g) Bases de datos**

Geobase Institucional de Datos, SIGMAS, SINA, agua potable, de presas o algunas específicas, que contengan la información requerida para el desarrollo del PCI.

De preferencia, toda esta información debe estar asociada a un solo marco georeferenciado o, en su defecto, a marcos que sean correlacionables o compatibles entre sí, tal como se recomienda en los [Anexos 2 y 4](#).

#### **Equipo y recursos necesarios para la obtención y el manejo de la información**

Es obvio que toda la información indicada en el apartado anterior sería de poca utilidad práctica, si no se dispusiera



del equipo y el personal capacitado para procesarla e interpretar los productos derivados de ello. Por tanto, como parte del PCI, los OC y las DL deberán proceder a adquirir los equipos y a preparar el personal que sea necesario para tal fin, conforme a los siguientes lineamientos principales:

### Personal

Es el elemento fundamental en la integración, manejo y difusión de la información geográfica. En lo posible, el equipo humano deberá estar compuesto por especialistas en:

- SIG
- Geoposicionamiento (GPS)
- Informática
- Telecomunicaciones y redes

El primero de ellos (SIG), es quien elabora y produce los mapas finales, debe tener dominio de las herramientas de *software*, ArcGIS como mínimo, y de preferencia del ERDAS para el manejo de imágenes de satélite. A su vez, requiere del apoyo de los demás especialistas indicados, en materia de infraestructura de cómputo y telecomunicaciones.

En el [Anexo 5](#) se enumeran los nombres y datos generales de los especialistas de la SIGA adscritos a los Organismos de Cuenca, quienes, en principio, serán los indicados para integrar la información geográfica motivo de este capítulo. Todos ellos han sido capacitados y cuentan con vasta experiencia en el manejo de herramientas de SIG y con la infraestructura de cómputo necesaria para procesar, desplegar e imprimir la información geográfica.



Asimismo, se presentan los nombres y datos generales de los especialistas adscritos a la SIGA en Oficinas Centrales, quienes pueden proporcionar la asesoría requerida en esta materia y, en su caso, trasladarse a las localidades donde ocurran los eventos para apoyar en el desarrollo de los SIG de los PCI.

Dada la necesidad de contar con oportunidad con las herramientas indispensables para la atención de eventos de este tipo, es recomendable que, además del personal enumerado en el [Anexo 5](#), los OC y las DL que enfrentan con más frecuencia estos fenómenos designen elementos de su personal que atienda estas tareas, para que reciban la capacitación necesaria con anticipación.

### Equipo de geoposicionamiento

En el [Anexo 6](#) se enumeran los datos generales de los instrumentos de geoposicionamiento que se recomienda utilizar, indicando: marcas, costos aproximados, características, proveedores, disponibilidad existente tanto en los OC y DL como en las Oficinas Centrales de la SIGA.

### Equipo de cómputo

El [Anexo 7](#) contiene los datos generales de los equipos necesarios para el desarrollo de los PCI: características, capacidad, accesorios, disponibilidad tanto en los OC y DL como en las Oficinas Centrales de la SIGA.

### Software

En el [Anexo 8](#) se consignan los datos del *software* requerido para el fin de que se trata. En todas las etapas del desarrollo de los PCI los OC y las DL contarán con la asesoría de la SIGA, en materia de: recopilación; integración; procesamiento y despliegue de la información; capacitación de personal; y adquisición del equipo.

### Referencias bibliográficas

- ORMSBY, T; Napoleon, E. *Getting to Know ArcGIS Desktop Second Edition: Basics of ArcView, ArcEditor, And ArcInfo*. 2007.
- ESRI TEAM. *ArcGIS User Guides: ArcMap, ArcCatalog, GeoDataBase Workbook*. 2007.
- SIGA. *Procedimiento de Conexión a la Geobase de Datos Institucional del Agua*. Comisión Nacional del Agua. 2006.

- GÜNTER and Seeber. *Satellite Geodesy, second edition*. Walter de Gruyter. 2003.
- Página Web: [www.gabrielortiz.com](http://www.gabrielortiz.com). Procedimientos realizados con ArcGIS/ArcView. Consulta para usuarios principiantes y avanzados.
- Página Web: [www.esri.com.es](http://www.esri.com.es). Página Web para Usuarios de ESRI en español.

## 1.4 Meteorología e hidrología

Prácticamente cualquier medida para el control de inundaciones requiere identificar cuál será la zona inundada con una cierta frecuencia desde el punto de vista estadístico.

Para ello es necesario conocer no sólo la capacidad de conducción del cauce, sino también la frecuencia con la que distintos caudales se presentan en él o, alternatively, la frecuencia con la que distintos volúmenes de precipitación pluvial se presentan en la cuenca correspondiente, recurriendo a la información histórica.

Una estación hidrométrica existente sobre el cauce cerca del sitio en cuestión y la recopilación y análisis de la serie de caudales que se han presentado es usualmente suficiente para poder proyectar el caudal que (en promedio) se igualará o será rebasado cada  $T_r$  años, donde  $T_r$  representa el llamado periodo de retorno de la medida de control de inundaciones que se desea implementar.

Cuando no existe dicha estación hidrométrica o su registro tiene múltiples interrupciones (por ejemplo para caudales extremos que ponen en peligro la vida del operador) se hace necesario recurrir a los datos de lluvia para convertir posteriormente éstos en un estimado del caudal que producirá en el sitio de interés a través de un modelo de cuenca, frecuentemente llamado modelo lluvia-escurrimiento.

### Estaciones hidrométricas

Una estación hidrométrica puede ser un punto de medición de caudales explícita, puede ser una estación de medición del nivel de la superficie libre en una sección conocida del río (idealmente inalterada bajo condiciones extremas de flujo) o inclusive un almacenamiento artificial de agua sobre el cauce, típicamente una presa.

En el primer caso la variable deseada es directamente medida y la serie de valores a analizar se obtiene directamente del registro de mediciones, idealmente de larga duración e ininterrumpida. Es usual que los valores disponibles sean caudales (o gastos) con un intervalo entre mediciones de un día. El hecho de que la estación

hidrométrica de interés no tenga un registro diario completamente continuo no la hace inútil. Si los huecos en la serie de tiempo se dan en forma aleatoria o resultan completamente periódicos (por ejemplo faltan sólo los domingos), entonces los valores máximos que son los que interesan estarán muestreados razonablemente bien. Pero resulta importante identificar si los valores faltantes no se dan específicamente en días en los que el caudal pudo haber sido especialmente alto ya que las condiciones de seguridad del operador pueden verse seriamente amenazadas cuando el río está crecido. Una serie así no debe ser usada tal cuál para un análisis cuyo propósito sea el de identificar el valor del caudal para un periodo de retorno alto, pues resultaría en una subestimación del verdadero gasto con dicho periodo de retorno.

¿Cómo puede identificarse una serie hidrométrica con este defecto? Pues es necesario revisar que otras fuentes independientes de información no indique que en los días con huecos la probabilidad de gastos hubiera sido especialmente alta. Las otras fuentes alternativas de datos independientes pueden ser los registros de precipitación pluvial en los días previos, otras mediciones de estaciones hidrométricas aguas arriba o aguas abajo del mismo río o inclusive en ríos cercanos, además de los registros de ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos productores de fuertes lluvias, como frentes fríos o ciclones tropicales.

En el caso de una estación de medición del nivel de la superficie libre, se recurre a la llamada curva elevaciones-gastos de dicha estación para transformar niveles de la superficie libre en caudales.

La obtención de estas curvas de elevaciones-gastos se encuentra fuera del alcance de esta publicación, pero se puede encontrar en múltiples libros de texto y manuales sobre hidrología, entre los cuales se encuentra Aparicio (2001). Aunque estas estaciones son menos sensibles al efecto de falta de datos en días con caudales extremos, ya que el operador normalmente lee la escala desde una cierta distancia, las recomendaciones previas sobre el uso de series con datos faltantes también aplica.

Este tipo de estación es sensible a otro tipo de problema: el de que, si el cauce tiene fondo natural, durante avenidas fuertes el fondo puede ser socavado (es decir su sedimento suspendido y/o arrastrado) al punto de que el área hidráulica pueda llegar a ser mucho mayor que la utilizada en la obtención de las curvas

elevaciones-gastos. Esto implicaría que el nivel de la superficie libre indicaría un caudal menor que el que verdaderamente transitó por dicha sección durante el pico del evento. De utilizar una serie con este problema, nuevamente llevaría a subestimar el caudal verdadero que corresponde al periodo de retorno seleccionado. No resulta fácil ni siquiera identificar este problema ya que, al bajar el nivel de la superficie libre, reducirse la velocidad de arrastre en el fondo y regresar a la transparencia normal del agua, el fondo puede encontrarse nuevamente en o cerca de su nivel original, debido a la sedimentación del material que proviene de aguas arriba.

Finalmente, en el caso de un almacenamiento, que cuente con su curva elevaciones-almacenamientos (obtenida de la topografía del vaso) el gasto promedio entrando al vaso entre los instantes "1" y "2" se calcula simplemente como:

- $Q_{12} = (Vh_2 - Vh_1) / (t_2 - t_1) \quad (1)$

donde  $Q$  es el gasto (en  $m^3/s$ ),  $V$  es el volumen almacenado (en  $m^3$ ), función de la elevación medida en cada uno de los instantes 1 y 2,  $h$  es la elevación de la superficie libre (en m) y  $t$  es el instante en el tiempo (en s); los subíndices 1 y 2 indican distintos instantes en el tiempo. Parecería que éste es el caso ideal pues mucho más probable que se tenga una serie continua o al menos sin el defecto de valores extremos faltantes en una presa que en alguno de los dos tipos de estaciones hidrométricas sobre el cauce.

Pero, si la presa se encuentra suficientemente cerca del sitio en cuestión, aguas arriba, como para ser usada para obtener la serie de tiempo de caudales, entonces también modifica dramáticamente la probabilidad de que se presente un cierto caudal. Cuando la presa está baja atrapa todo o mucho del volumen que fluye por el río, mientras que cuando se encuentra completamente llena, simplemente deja pasar la avenida con un cierto amortiguamiento por su tránsito a lo largo del vaso. Esto es, la presencia de la presa aguas arriba, hace que el caudal dependa de otras muchas nuevas variables.

Pero, de todas formas es útil para identificar los caudales que cada unidad de área de la cuenca ha producido en el pasado y esta información se puede aplicar a la cuenca de la porción del cauce que va desde la presa hasta el

punto en el que se desean controlar las inundaciones. Si la presa se encuentra aguas abajo sin que su vaso alcance nunca al sitio en cuestión, entonces sí se trata de una “estación hidrométrica” ideal. Más aún, en algunos casos se podrán reconstruir series de tiempo con intervalos más cortos que el tradicional de 24 horas.

## Procesamiento de la serie de tiempo

En el procesamiento de la serie de tiempo de caudales no se utilizan todos los datos de la serie, sino que se extrae una muestra con el valor más alto en cada año de la muestra. Por lo mismo, si alguna serie incompleta carece de valores en instantes de condiciones extremas, pero por algún medio independiente se puede asegurar que no se trata del máximo del año, entonces la falta de dichos valores no influye en nada el resultado final del análisis.

Hoy en día, se recomienda “cargar” la serie de tiempo de caudales en una hoja de cálculo a dos o cuatro columnas. Si fuera a dos columnas, la primera con la fecha, la segunda con los valores diarios de caudal. Si fuera en cuatro, la primera con el año, la segunda con el mes, la tercera con el día y la cuarta con los valores de caudal. Asegurarse que la serie se encuentra cronológicamente ordenada. Utilizando la función de máximo de la hoja de cálculo, identificar éstos a nivel anual, anotándolos por ejemplo en una columna adicional en el renglón para fecha 31-dic-aaaa, donde “aaaa” es el año en cuatro cifras. Una vez identificados los máximos anuales formar una muestra de éstos, digamos en una primera columna con el año, una segunda con el caudal máximo en el año.

El periodo de retorno es simplemente el inverso de la probabilidad de que uno de los valores en la lista ordenada sea igualado o rebasado en un año cualquiera del futuro. Esto implica que si la duración de la muestra es de “N” años y el  $T_r$  seleccionado es menor a N, entonces el “caudal de diseño” puede ser obtenido, empíricamente, interpolando en la muestra. Pero si el valor de  $T_r$  seleccionado es mayor que N, el caso más común, entonces se tiene que extrapolar la muestra. En ambos casos se recomienda ordenar la lista de valores máximos anuales de mayor a menor (muy sencillo en una hoja de cálculo).

En el caso de interpolación de la muestra se puede recurrir simplemente a identificar el valor en la lista que

tiene un  $T_r$  igual al deseado. Por ejemplo en una serie de máximos anuales de 40 años, ¿cuál es el  $T_r$  del valor en el lugar 16 de la lista ordenada de mayor a menor? Fue igualado o rebasado por 16 de los 40 años. Por lo que su probabilidad de ser igualado o rebasado es de  $16/40 = 0.4$  y su  $T_r$  es de  $1/0.4 = 2.5$  años ¿Cuál sería el valor con un  $T_r$  de 25 años? El valor que se busca tiene una probabilidad de ser igualado o rebasado de  $1/25 = 0.04$ , o alternativamente tendría que estar ubicado en el lugar tal que  $x/40 = 0.04$  o sea  $x = 1.6$ , es decir habría que interpolarlo entre el primero y el segundo valor, más cerca del segundo que del primero. Digamos que dichos valores en los primeros dos lugares son de 794 y 453  $m^3/s$ . En forma simplista podría calcularse como:

$$\begin{aligned} Q_{Tr} &= 25 = (0.4)(794) + (0.6)(453) = \\ &= 589.4 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

En palabras se diría que el gasto que sería igual o mayor, una vez cada 25 años, en promedio sería de 589.4  $m^3/s$ . Es importante recalcar que la relación entre periodo de retorno y caudal no es de ninguna manera lineal. El caudal correspondiente a un  $T_r = 12.5$  años (la mitad de 25 años) no es de ninguna manera igual a 294.7  $m^3/s$  (la mitad de 589.4  $m^3/s$ ); de hecho resulta mayor a 294.7  $m^3/s$ . Por ello la interpolación lineal que realizamos en el ejemplo nos brinda simplemente un estimado burdo del valor correcto. Ahora veremos cómo mejorar esto.

En el caso de requerirse una extrapolación, por ejemplo si se requiere un valor de diseño con un  $T_r = 100$  años con una muestra de tan solo 40 años de duración, el proceso consiste en ajustar una distribución de probabilidad a los datos disponibles, pero una distribución de probabilidad especialmente diseñada para valores extremos.

Las distribuciones de probabilidad de valores extremos más comunes en la literatura son:

- a) Distribución Log-normal
- b) Distribución Gumbel (Viessman, et al, 1977)
- c) Distribución Pearson tipo III

Anteriormente el procedimiento era parcialmente gráfico-manual, pero hoy en día existe *software* que realiza el ajuste de distribuciones de probabilidad con facilidad. Entre estas distribuciones de probabilidad, la hoja de cálculo casi universal, Excel, inclusive ya maneja las siguientes:

- Distribución Gamma, un caso más general que la Pearson tipo III
- Distribución Log-normal

Actualmente existen varias de estas distribuciones de probabilidad de valores extremos, por lo que es necesario aplicar el mayor número de ellas y evaluar la de mejor ajuste, seleccionando ésta como el modelo adecuado para el caso específico.

En ésta parte, la graficación, que también puede realizarse por computadora, sigue teniendo gran utilidad, pues permite al usuario identificar detalles que no son evidentes de la bondad de ajuste. El ajustar una distribución de probabilidad de valores extremos a los datos empíricos tiene utilidad inclusive cuando se trata de interpolación, cuando el  $T_r$  seleccionado es menor al tamaño de muestra  $N$ . Resulta que como cualquier otra muestra estadística, los valores que se tienen en esta "realización específica del experimento (por la naturaleza, no por nosotros)" muestran cierta variabilidad aleatoria con respecto a los que obtendríamos de otra repetición de exactamente el mismo experimento. Es decir, de esperar otros  $N$  años bajo exactamente las mismas condiciones climáticas, de la cuenca y del cauce y midiéramos la serie de tiempo diariamente, un procesamiento idéntico no resultarían exactamente en iguales valores a las anteriores. El ajuste de una distribución de probabilidad a los datos permite suavizar estas posibles irregularidades en los datos obtenidos de esta realización específica. Resulta, en cierto sentido, equivalente a realizar muchas veces el experimento y promediar sus resultados individuales.

Habiendo obtenido el valor de los parámetros de la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos, los valores para cierto periodo de retorno (o equivalente probabilidad de ser igualado o superado) ya se pueden obtener directamente de la expresión matemática de dicha distribución de probabilidad (o de tabulaciones de la misma), no directamente de los datos. Basta con substituir la probabilidad deseada y obtener la magnitud del valor del caudal que corresponde a dicha probabilidad. Esto se puede hacer no solamente en la porción extrapolada (más allá del valor máximo medido), sino inclusive en la porción interpolada, dentro del rango de los valores máximos medidos.

Resulta muy importante ser cauteloso con las extrapolaciones, sin importar qué tan sofisticada sea la herramienta matemática utilizada. Si se tiene una muestra de  $N$  años, la incertidumbre para periodos de retorno más allá de un orden de magnitud mayor ( $10N$ ) empieza a ser peligrosa. Por ejemplo, con una muestra de 40 años, extrapolar más allá de  $T_r = 400$  años empieza a no tener sentido, aunque debido a lo relativamente corto de nuestras series de tiempo hidrométricas, es frecuente que tengamos que hacerlo.

Es importante enfatizar que existe otro gasto (o caudal) que es importante tener en cuenta, el de la capacidad física de conducción del cauce sin desbordamiento del mismo (sin inundación). El caudal de diseño de la medida de control de inundaciones que queremos implementar puede coincidir con éste, pero también puede ser mayor a éste. Este caso se daría cuando, hidrológicamente, la capacidad de conducción del cauce en su condición actual tuviera un periodo de retorno inaceptablemente pequeño, por ejemplo 2 o 5 años. En los casos en que diseñemos una medida para un gasto mayor a la capacidad del cauce en el sitio de interés, extrapolando fuera del rango históricamente medido, se hace importante el verificar que dicho gasto sí pueda ser conducido por el cauce aguas arriba del sitio de interés sin desbordamientos. Esto porque, una vez desbordado el río (ocupando parcial o totalmente sus llanuras de inundación) la avenida que persiste aguas abajo se modifica significativamente, hacia la baja en cuanto a gasto pico, hacia la alta en cuanto a duración de la avenida. Bajo estas condiciones no presentes en la muestra histórica, un valor de diseño extrapolado ya no tiene ningún sentido físico.

En el [Anexo 9](#) se muestra un ejemplo completo del procesamiento esbozado en esta sección con datos reales.

## Fuentes de información hidrométrica

La CONAGUA, por medio de la Subdirección General Técnica (SGT) y a través de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) es la encargada de integrar todas las mediciones hidrométricas que se hayan realizado en el pasado (además de ser la operadora de la mayoría de las estaciones de este tipo). Con cierta regularidad los datos medidos se capturan en el Sistema de Información de Aguas Superficiales (SIAS) y se realiza el

cálculo hidrométrico correspondiente, actualizando la base de datos para un cierto período de tiempo y se publican en medios magnéticos (CD's o DVD's). En forma genérica a esta base de datos se le ha denominado Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS). Esta base de datos, se complementa con los datos medidos en las estaciones hidrométricas, que aún no han sido calculados y publicados, éstos se encuentran en los expedientes de las áreas técnicas de los Organismo de Cuencas o de las Direcciones Locales correspondientes de CONAGUA, sería la fuente natural de datos históricos de este tipo. En el [Anexo 10](#) se presenta una breve descripción del producto BANDAS.

Otra posible fuente de información útil, quizá no solamente en forma de datos crudos, sino también de productos ya analizados, se puede obtener de las memorias de cálculo de obras (ya sea de control de inundaciones o no) que se hayan realizado recientemente sobre el mismo cauce, ya sea ligeramente aguas arriba o ligeramente aguas abajo. Puesto que el tamaño de la cuenca varía con el sitio exacto de su cierre sobre el cauce, algunos ajustes podrían ser necesarios para considerar la diferencia de posición entre el sitio en el que se realizó la obra fuente de los datos y el sitio de interés para el control de inundaciones actual. Por ejemplo: para una gran presa, sabríamos que el gasto de diseño del vertedor de demasías (un valor ampliamente conocido y difundido) tendría un  $T_r$  de 10,000 años. Pero en el estudio realizado para llegar a este resultado, podrían encontrarse los valores para  $T_r$  de 10, 25, 50 o 100 años también.

En nuestro medio, es frecuente que el deseo y financiamiento para la implementación de medidas de control de inundaciones se haga presente inmediatamente después de un evento extremo que produce una fuerte inundación en la zona. También resulta frecuente que el gasto de diseño deseado se considere como aquél que presentó el último evento extremo. La lógica de esto proviene del deseo de proteger la zona para eventos hasta como el recientemente ocurrido. En efecto, de tener una buena estimación de dicho gasto, la medida de control de inundaciones puede ser diseñada e implementada, pero por sí solo no se podría asociar a un cierto periodo de retorno. En este caso se estaría diseñando sin poder estimar cada cuánto tiempo (en promedio) transcurriría antes de que la medida implementada fuera rebasada. Si el evento

hubiese resultado, por accidente, el de un periodo de retorno de 1,000 años, podríamos estar diseñando para algo que probabilísticamente nunca se fuera a presentar en la vida de la obra o de aplicación de la medida, con los costos excesivos asociados.

En este caso usualmente se procede a la inversa (pues rara vez existe una medición fidedigna del caudal asociado con el desastre reciente). Más bien se cuenta con mediciones, estimaciones o evidencias (huellas) de los niveles que alcanzó la superficie libre del agua. Con datos adicionales sobre la sección del cauce, su pendiente longitudinal, su coeficiente de fricción, entre otros. Se pueden aplicar expresiones matemáticas de la hidráulica bien conocidas para calcular el caudal máximo de dicho evento.

### Sobre el posible efecto de otras obras

En general la medida de control de inundaciones que resultara seleccionada seguiría funcionando adecuadamente para el gasto o caudal de diseño, mientras las condiciones dentro del cauce no cambiaran, aún cuando otras obras se construyeran aguas arriba o aguas abajo del sitio en cuestión. Esto, resulta cierto para el valor del caudal, pero no necesariamente para el periodo de retorno que originalmente se asignó a dicho caudal. El verdadero periodo de retorno del caudal de diseño sí puede ser afectado dramáticamente por obras tanto aguas arriba como aguas abajo.

Por ejemplo, si aguas arriba de un sitio en el que se diseñaron y construyeron bordos longitudinales que permitieran conducir  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  sin desbordamiento y al instante de la construcción este caudal se asociaba con un  $T_r$  de 10 años, la construcción de una presa aguas arriba del sitio sobre el mismo cauce no afectará la capacidad de los bordos para permitir la conducción segura de  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ , pero sí puede cambiar dramáticamente el  $T_r$  que bajo las nuevas condiciones tenga dicho gasto de diseño, obviamente hacia la alta. Ya con la presa que absorbe parte de la avenida y amortigua el resto, el periodo de retorno para el gasto de 500 años aumentará, es decir, se presentará con menor frecuencia que antes de la construcción de la presa. Observe también que un remanso producido por una obra aguas abajo podría dejar al gasto intacto pero el tirante incrementado ahora podría producir desbordamiento de la obra original.



## El caso sin hidrometría

Cuando no se cuenta con una estación hidrométrica sobre el cauce, cercana al punto de interés, se tiene que recurrir a calcular indirectamente la serie de tiempo de los caudales en el sitio de interés, para lo cual se recurre a los datos de lluvia medidos dentro o cerca de la cuenca que alimenta de escurrimiento al cauce en dicho punto de interés o, al menos los que podrían competir para gastos máximos anuales en dicha serie de tiempo.

Es importante hacer notar que, aunque la correlación entre el caudal en el río y la precipitación pluvial que lo produce es muy alta, no se puede asegurar que la lámina de lluvia (promedio en la cuenca) más alta de un año producirá siempre el gasto mayor de dicho año. El proceso de escurrimiento es complejo y depende de otras variables además de la magnitud de la lluvia que lo origina. Por lo que todos los eventos significativos de cada año del registro de lluvias deben ser recopilados y posteriormente analizados. Tampoco se puede asegurar que los picos de series de lámina de lluvia diaria (promedio en la cuenca) sean los únicos que deban ser procesados. Para cuencas relativamente grandes los picos de las series de acumulados en dos, tres o más días pueden resultar los críticos para definir los caudales máximos anuales. En el caso contrario, el de cuencas muy pequeñas o con altas pendientes, los casos críticos pueden ser de tormentas con duraciones menores a las 24 horas que es el estándar de los datos ampliamente disponibles.

## Problemas usuales en la recopilación de datos de lluvia

La base de datos climatológica nacional es administrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la CONAGUA. Aunque es extremadamente amplia, tiene un problema recurrente en todos los países en vías de desarrollo del mundo: tiene una significativa cantidad de huecos. Esto por un lado hace que las series de tiempo de lluvias muestren interrupciones y por el otro lado hace muy frecuente que los pluviómetros disponibles para la definición de diversas tormentas no se mantenga invariante. Afortunadamente esto no hace a la base de datos inútil. Por el contrario, sabiendo de estas limitaciones se pueden diseñar formas de explotación que minimicen sus

efectos o, al menos, que provean la mejor estimación posible que se puede obtener para el día en cuestión.

Véase un efecto negativo de esta porosidad de la base de datos climatológica nacional. Supóngase que se desea identificar la acumulación de lluvia que resultará crítica para una cuenca relativamente grande, una en la que las lentas condiciones de concentración requieren obtener una serie de láminas acumuladas en 3 días consecutivos para en ella buscar los eventos de 72 horas significativos en cada año. Supóngase además el caso simplificado de una estación climatológica tradicional que no cuenta con datos de lluvia todos los domingos. Aunque en series diarias los faltantes serían 1/7 del número total de datos que debería haber (relativamente bajo), en la serie de acumulados en tres días los datos faltantes serían de 3/7 del número total de datos nominales (relativamente alto). Esto es porque, especialmente cuando se buscan valores extremos, no se debe suponer qué es lo que ocurrió en un día sin datos. Si el valor extremo inexistente hubiese producido el gasto máximo anual en el cauce sobre el sitio de interés, perder un día de datos de lluvia puede significar perder un año de la muestra de máximos anuales.

Muchos usuarios de la base de datos climatológica nacional se resisten al uso de métodos alternativos a los 100% tradicionales (el análisis de los datos puntuales de cada estación climatológica en la cuenca de interés) aduciendo que “podrían perder los máximos reales en el registro de láminas de lluvia”. Pero estos usuarios deben hacerse la pregunta: ¿qué les hace pensar que en alguna de las estaciones climatológicas disponibles en la base de datos en realidad se midió la máxima lámina de lluvia acumulada dentro de la cuenca? Aún en las zonas de mayor densidad en los intervalos de años con mayor número de estaciones climatológicas en México, la separación entre estaciones resulta del orden de unos 20 km, mientras que el tamaño de la columna de una celda convectiva no rebasa típicamente los 10 km (frecuentemente bastante menor que esto). Un simple diagrama de estaciones de medición uniformemente distribuidas cada 20 km, superpuesta con una tormenta supuesta de anillos concéntricos de hasta 10 km de diámetro que se pudiera colocar aleatoriamente sobre la malla de medición indicaría que la probabilidad de que realmente capturemos el verdadero máximo es bastante baja. Así pues, se tiene que convivir con la realidad de que aún bajo

condiciones de medición puntual perfecta, la aproximación a la realidad es imperfecta. En otras palabras, la distribución espacial de la huella de la tormenta no será casi nunca exactamente igual a la distribución real de la tormenta. Afortunadamente, en hidrología interesa más el volumen total precipitado (o, alternativamente la lámina promedio) dentro de una cuenca que en el valor máximo puntual y en este contexto la red de estaciones climatológicas en México es, en la mayor parte de los casos, satisfactoria, o al menos útil.

Es frecuente que los datos de las últimas tormentas le sean de gran importancia al tomador de decisiones que aprueba o que propone la medida de control de inundaciones. Pero es precisamente esa información más reciente, la que resulta más difícil de conseguir o al menos la que cuenta con menor densidad de estaciones. Esto se debe, naturalmente a que las estaciones son manuales y sólo una fracción de ellas reporta a oficinas integradoras sus mediciones diariamente. Las que no lo hacen pueden tener retrasos en la captura e integración de la información que van desde unos cuantos meses hasta unos cuantos años. En estos casos puede ser conveniente (o necesario) recopilar los datos más recientes directamente de las estaciones climatológicas en o alrededor de la cuenca de interés.

## Fuentes de información pluviométrica

La fuente de información más tradicional para información pluviométrica es el SMN. A su vez, excepto para solicitudes especiales, la respuesta del SMN se obtendrá de la base de datos climatológica nacional administrada, con la herramienta computacional CLICOM. Los usuarios comúnmente usan en forma intercambiable el nombre de la herramienta (CLICOM) con el nombre de la base de datos climatológica nacional (diciendo que los datos provienen de CLICOM). Esta nomenclatura llevará a confusiones ya que la base de datos climatológica nacional manejada por CLICOM es un ente dinámico, que va cambiando en el tiempo, hasta día con día. Esto se debe a que todos los días se capturan e ingieren datos nuevos y frecuentemente se corrigen datos que se ha comprobado contenían errores. En otras palabras, lo que está guardado en el CLICOM de hoy, no es igual a lo que estará guardado en el CLICOM de mañana.

Al hacer una solicitud es importante interrogar sobre hasta qué año el SMN considera que la información ha sido 100% capturada en la base de datos. Pudiera valer la pena no usar la información de los años más recientes (todavía incompletos en su captura) o al menos estar consciente de esto. En el [Anexo 11](#) se presenta una breve descripción del estado de la base de datos climatológica manejada con CLICOM a la fecha aproximada de la publicación de este manual. Es importante puntualizar que para manejar los datos resultado de una solicitud realizada al SMN no es necesario contar con la herramienta computacional CLICOM, pues ésta puede extraer datos en formato de texto ASCII ingeribles por hojas de cálculo, programas de graficación, programas de manipulación numérica de datos, manejables por cualquier lenguaje de programación, entre otros.

Una fuente de información alternativa (o complementaria), sobre todo para los años más recientes, es la del subconjunto de estaciones climatológicas tradicionales que reportan sus datos diariamente (un poco menos de 1/3 de la totalidad de las que opera hoy en día). Estos valores se pueden obtener del llamado Sistema de Información Hidrológica (el SIH), herramienta computacional que opera sobre la red interna de la CONAGUA y cuya administración corresponde a la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) de la SGT de CONAGUA. Hasta el SMN es usuario del SIH, pues es con sus datos que se elabora el mapa diario de precipitación pluvial que aparece en la página de Internet del SMN. En el [Anexo 12](#) se presenta una breve descripción de los datos almacenados y administrados a través del SIH.

Otra fuente alternativa de información pluviométrica actual es el producto llamado MAYA del propio SMN. Así como un dato faltante de una estación climatológica puede ser sintetizado a través de interpolar los valores de las estaciones vecinas que sí tenían dato en dicho día, así se puede sintetizar el valor que se hubiese medido en cualquier punto sobre la geografía de México si hubiese contado con un pluviómetro en el sitio.

El producto MAYA es simplemente una aplicación masiva de esta verdad intuitiva. Pero la síntesis del dato "faltante" se hace sobre una malla regular de nodos igualmente espaciados entre sí por 0.2 grados de latitud y 0.2 grados de longitud, lo que a la latitud de México resulta burdamente en 20 km. Esto es, se trata de una reconstrucción del campo de la precipitación pluvial día



con día durante 40 años (1961 a 2000). Los máximos medidos se encuentran, como vulgarmente se dice, rasurados, es decir los máximos en la base de datos MAYA resultan ligeramente menores que aquellos registrados en la base de datos climatológica nacional puntual tradicional. Su principal ventaja es que los valores deseados, típicamente una serie de tiempo de láminas promedio sobre la cuenca de interés, puede ser obtenido órdenes de magnitud más rápido que con la aplicación tradicional de los datos puntuales. Otra de sus ventajas es que las series nodales no tienen huecos, son completamente continuas. En el [Anexo 13](#) se presenta una descripción breve del producto MAYA v 1.0.

Existen versiones “congeladas” de la base de datos climatológica nacional al estado de actualización en el que se encontraba en una cierta fecha, mismos que en general mandó a elaborar la CONAGUA con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Los mejores ejemplos son el ERIC, el ERIC II y el ERIC III. ERIC es la sigla para Extractor Rápido de Información Climatológica, aunque la versión III, desarrollada por el IMTA de manera independiente, las capacidades van más allá de un simple extractor. Su idea principal es facilitar la tarea de las personas que están buscando un subconjunto relativamente grande de la base de datos climatológica nacional (en una cierta ventana de tiempo o geográfica) pero que no tienen acceso a la herramienta CLICOM (que aunque no es comercial sí está basada en un manejador de bases de datos comercial: DataEase). Además, contiene la herramienta extractora y la base de datos, todo incluido, en un solo disco óptico. Pero en contra de la creencia popular, no se trata de datos independientes a los de la base de datos climatológica nacional, sino de una instantánea de su estado a cierta fecha. También es importante que ERIC, ERIC II y ERIC III no son conjuntos de datos independientes. El tercero incluye en su totalidad a los datos del segundo que a su vez contiene la totalidad de los datos del primero.

El principal problema de todas las fuentes de datos antes descritas es su pobre control de calidad. Existe una alta probabilidad de que estén contaminados por datos erróneamente capturados o erróneamente registrados en papel, algunos de los cuales serán obvios para el usuario de los mismos, pero otros serán, accidentalmente, inseparables de los datos correctos por medios tradicionales de control de calidad.

Es posible también, que las series no sean homogéneas, es decir que contengan saltos abruptos de sus estadísticas asociadas a cambio de operador, ligero cambio de sitio, crecimiento de vegetación en los alrededores de la estación, ser engullidos por zonas urbanas, entre otros. Existen juegos de datos generados por instituciones académicas que han sido filtrados por ciertos controles de calidad. Su problema en el uso práctico, es que el número de puntos de medición a nivel nacional es muy limitado o los controles de calidad dejaron sobrevivir tan pocos datos que pudieran resultar inútiles para el análisis deseado (por ejemplo dejar una serie con sólo cinco años de datos completos). De todas formas, estos juegos de datos son útiles para juzgar la calidad de los datos más completos de alguna de las otras fuentes, comparando la misma estación entre la base de datos selecta y la base de datos masiva.

En algunas ocasiones especiales, los datos requeridos son de mayor resolución temporal que los acumulados cada 24 horas. En estos casos se puede recurrir a datos de observatorios meteorológicos (datos horarios pero sólo en 79 puntos), estaciones meteorológicas automáticas (buena disponibilidad, alta resolución pero registros relativamente recientes solamente) o recurrir a redes de medición especiales, como la de pluviógrafos del Gobierno del Distrito Federal, las de los experimentos EMVER-93 y NAME en el noroeste de México, entre otros. Datos de estaciones meteorológicas automáticas pueden ser solicitados al SMN, a GASIR, al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la UNAM, la Secretaría de Marina (SEMAR) y cada vez más frecuentemente a gobiernos estatales diversos.

En otras ocasiones aún más peculiares, se puede recurrir a datos no puntuales con mediciones indirectas o estimadas de lluvia, como con los radares meteorológicos (SMN-CONAGUA y Comisión Estatal de Aguas de Querétaro), o como herramientas con base en imágenes satelitales como el caso del “Hidroestimador” implantado en México por el SMN con salidas horarias vía página de Internet. En general, éstos serán más útiles para identificar casos significativos que para obtener series de datos de larga duración, al menos por ahora en México.

Recientemente, el SMN ha empezado a procesar información masiva sobre tormentas completas con umbrales

de lámina acumulada diaria por arriba de un cierto valor, como un producto secundario de MAYA.

Hasta ahora se han planteado fundamentalmente fuentes de datos. Pasando hacia el área de información (datos procesados), en ocasiones se requieren las llamadas curvas intensidad (i)-duración (d)-periodo de retorno ( $T_r$ ) o en corto curvas i-d- $T_r$ . Estas son curvas que en un cierto sitio definen cuales son las intensidades (en mm/h) que se pueden esperar para lluvias continuas de cierta duración (en h) que se igualarían o rebasarían, estadísticamente, una vez cada  $T_r$  años. Observe que se acostumbra expresar en términos de intensidad (promedio a lo largo de la duración), pero que en forma equivalente podrían manejarse como láminas acumuladas (h en mm) convirtiéndose en curvas h-d- $T_r$ . El caso más típico es el de cálculo de drenaje pluvial en zonas urbanas o en cálculos de potencia de un enlace de microondas para que no sea interrumpido por la lluvia, esto último para sistemas de alerta temprana que pueden utilizar este medio para comunicar los datos de los pluviógrafos y limnógrafos de la parte alta de la cuenca a la zona que debe ser alertada.

En general, para un cierto periodo de retorno dado, a mayor duración menor será la intensidad promedio en dicha duración. Intuitivamente, en una tormenta, el minuto con mayor intensidad resulta con un valor mucho más alto que el valor promedio obtenido de la hora más intensa. Por otro lado, de expresarlo en términos de lámina acumulada, h será menor mientras menor sea la duración. Intuitivamente, la lámina acumulada en el minuto más intenso de una tormenta será necesariamente menor que la lámina acumulada en la hora más intensa de una tormenta. Si se fija la duración y varía el periodo de retorno, a mayor periodo de retorno mayor será i (mm/h) y también mayor será h (mm). Aunque se han realizado numerosos estudios puntuales que han obtenido curvas i-d- $T_r$ , ninguno de ellos tiene cobertura nacional excepto las dos versiones que ha realizado la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2000), seguramente para el cálculo de drenes bajo terraplenes de carreteras y caminos. La última versión se plasma solo en archivos tipo ".pdf" que se pueden bajar de su página de Internet, o en medio de disco óptico, con mapas digitalizados, cada uno de ellos para alguna combinación de d y  $T_r$ , con isolíneas de i (mm/h). Pero si el usuario tiene necesidad de ellas y tiene a su disposición un registro pluviográfico (por

ejemplo con pluma y papel o, alternativamente, electrónico) de suficiente duración se pueden obtener las curvas i-d- $T_r$  para dicho sitio con cierta facilidad. CENAPRED y el I de I realizaron en 2005 mapas de isoyetas para diferentes duraciones y periodos de retorno y están por sacar una nueva versión, a finales de este año.

Como ya se había mencionado, una de las formas de caracterizar el clima de un sitio en cuanto a precipitación es el de calcular de alguna manera su distribución de probabilidad, lo que normalmente se hace con base en datos experimentales. El Instituto de Geografía de la UNAM, en un trabajo patrocinado por la entonces Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL, actualmente el INEGI) realizó un interesante estudio de este tipo. El resultado final de este trabajo es una serie de cuadernillos, uno por cada entidad federativa en el caso de las que más estaciones tienen, varias por cuadernillo en el caso de las que menos estaciones tienen, con las distribuciones de frecuencia acumulada empíricas así como las distribuciones de probabilidad acumulada para cada uno de los sitios en los que se obtuvo buena información de lluvias. Éstas se presentan para el año completo, así como para los meses individuales y las temporadas de estiaje y de lluvias.

Por ejemplo el cuadernillo para el Estado de Tamaulipas contiene distribuciones de probabilidad para 50 estaciones de medición en el estado, cada una de ellas con 15 gráficas de las que se puede obtener la probabilidad de que una cierta precipitación pluvial mensual o anual o estacional sea igualada o rebasada. Aquí aparece la primera limitación, el hecho de que en el mejor de los casos la resolución es mensual, cuando el uso más común en el problema que nos ocupa sería diaria (o hasta subdiaria).

La verdad es que con un registro relativamente corto de precipitaciones diarias podría obtenerse un valor válido correspondiente a una cierta probabilidad de que un umbral mensual o anual sea igualado o rebasado. Otra limitación (y simultáneamente característica) es que los intervalos de estudio son antiguos (se trata de una publicación de 1977) que terminan cerca de 1970. Pero al fin y al cabo son estos intervalos de tiempo los que normalmente no se han digitalizado y por lo mismo son difíciles de procesar. Un uso juicioso de esta herramienta puede brindar información para reconstruir una muestra de valores relativamente extremos de lluvia adecuados para calcular el escurrimiento con un cierto periodo de retorno,

esto para un sitio que prácticamente no tiene datos. Pero no será fácil obtener originales. Estos prácticamente no existen fuera del Instituto de Geografía de la UNAM y, presumiblemente del actual INEGI. La referencia bibliográfica aparece como IG-UNAM/CETENAL (1977).

## Manejo de datos pluviométricos

El procesamiento de las mediciones de un solo pluviómetro sería totalmente similar al ya planteado para las mediciones de una estación hidrométrica, en cuanto al ajuste de una distribución de probabilidad de valores extremos a la muestra de los valores máximos anuales. Pero el resultado puntual no es lo que típicamente se busca, pues cuando se trata de lluvia el análisis debe ser realizado sobre la cuenca que alimenta de escurrimiento al sitio en el que se desea diseñar la medida de control de inundaciones en cuestión.

Dado que el resultado de este procesamiento de varias estaciones simultáneamente es de alguna manera un modelo del campo real de precipitación, su descripción se dejará para la sección de Estudios Meteorológicos, pero resulta extremadamente importante el no cometer el error de tomar los datos máximos de cada año en cada estación y con ellos obtener, ya sea un promedio sobre la cuenca o el mapa de isoyetas sobre la cuenca. Es necesario recordar que el valor máximo en cada estación no necesariamente ocurrió en la misma fecha. Lo correcto es obtener los promedios sobre la cuenca para los días más significativos y seleccionar el que resulte mayor en cada año para formar la muestra, misma que ya puede ser procesada como se ha descrito antes. Para recordarlo fácilmente: **“El extremo de los promedios (sobre la cuenca) no es igual al promedio de los extremos (puntuales)”**. De realizar el cálculo bajo este error conceptual se obtendrían valores de lluvia promedio sobre la cuenca exageradamente sobrestimados con respecto a la realidad (para un cierto periodo de retorno dado).

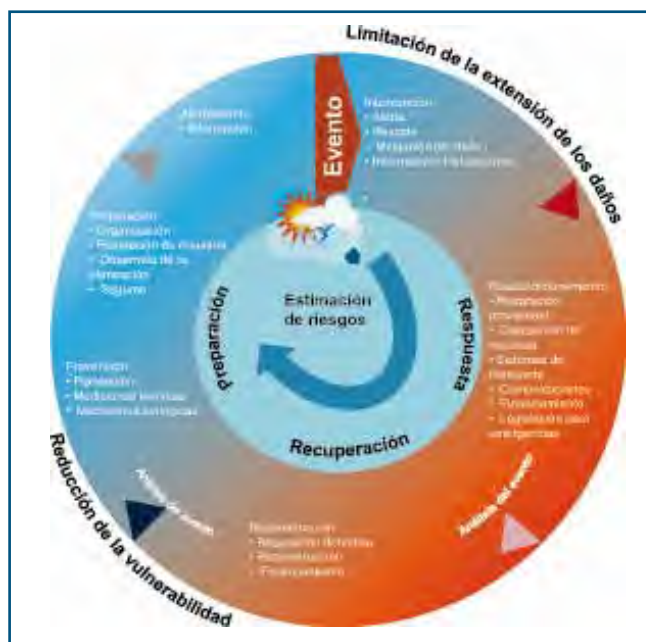
## Referencias bibliográficas

- APARICIO, F.J. (2001). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Limusa, Ciudad de México.
- Instituto de Geografía UNAM, CETENAL (1977). *Precipitación y Probabilidad de la Lluvia en la República Mexicana y su Evaluación*. 20 tomos. Serie Climas.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2000). Mapas de isoyetas de intensidad de lluvia para diversas duraciones y periodos de retorno en archivos .pdf en Internet: <http://www.dgst.sct.gob.mx/fileadmin/Isoyetas/xxx...x.pdf> (donde xxx...x es el nombre de la entidad federativa).
- VIESSMAN W., Knapp, J.W., Lewis, G.L., Harabaugh T.E. (1977). *Introduction to Hydrology*. Harper & Row. Nueva York.

# 1.5 Planes de desarrollo de emergencia, de control de inundaciones, de protección civil, de atención a la salud

La planificación es el proceso cíclico en el cual después de un desastre por inundaciones se inicia revisando las partes de los esquemas de preparación, atención y recuperación y su desempeño en la administración de una emergencia por fenómenos hidrometeorológicos extremos.

En este capítulo se abordarán 5 elementos del proceso de planeación en la administración y manejo de inundaciones en el país.



## Planes de desarrollo

Siendo este un tema fundamental para los especialistas en ordenamiento territorial y urbanistas, conforme la población crece y los centros de población y áreas productivas crecen con ella, los espacios donde la naturaleza disipa sus fenómenos son paulatinamente invadidos y la vulnerabilidad aumenta.

Este hecho implica que el ejercicio de la elaboración de los planes de desarrollo requiere reforzar cuadros multidisciplinarios donde se discutan los temas asociados a las inundaciones. Ya que los temas tratados a este nivel, implican discusión entre personal técnico, se deberá dejar que los temas políticos sean resueltos por los políticos en su momento.

En términos prácticos con estos elementos de juicio los urbanistas y desarrolladores del territorio deberán instrumentar políticas del territorio para la ocupación de terrenos, donde se privilegie la seguridad de las personas y el aseguramiento de los bienes o producción asentada en el terreno donde se asume un riesgo.

## Planes de emergencias

Este tópico se desarrolla desde el punto de vista de la CONAGUA y sus jurisdicciones hidrológicas administrativas, en los planes de protección civil se describirá desde el punto de vista del Sistema Nacional de Protección Civil y los roles donde interviene la CONAGUA en su participación.

## Emergencia hidrometeorológica

Es ocasionado por precipitaciones de cierta magnitud, crecientes repentinas o inundaciones, en ocasiones anticipado con algunas decenas de horas, que rompe con el equilibrio de seguridad de bienes materiales y vidas humanas que ostentaba la sociedad antes del mismo. La situación prevaeciente demanda que la organización movilice recursos humanos, financieros y equipos e insumos para reestablecer las condiciones de la sociedad a niveles aceptables de sobre vivencia.



Fraccionamiento desarrollado en zona inundable.

## Participación de la CONAGUA en la atención a las emergencias hidrometeorológicas

Tal como lo expresa el artículo 84 de la Ley de Aguas Nacionales:

“ARTÍCULO 84. “La Comisión” determinará la operación de la infraestructura hidráulica para el control de avenidas y tomará las medidas necesarias para dar seguimiento a fenómenos climatológicos extremos, promoviendo o realizando las acciones preventivas que se requieran; asimismo, realizará las acciones necesarias que al efecto acuerde su Consejo Técnico para atender las zonas de emergencia hidráulica o afectadas por fenómenos climatológicos extremos, en coordinación con las autoridades competentes.

Para el cumplimiento eficaz y oportuno de lo dispuesto en el presente Artículo, “la Comisión” actuará en lo conducente a través de los Organismos de Cuenca.”

## Duración usual de las emergencias hidrometeorológicas

Se podría hablar del lugar común que se utiliza para describir este tipo de eventos, el clásico “Antes, durante y después”, pero es importante recalcar algunas diferencias relevantes en la preparación que lleva a cabo una organización para la atención a una emergencia hidrometeorológica.

Por ejemplo: como se podrá ver en el gráfico inferior el OCFS está sujeto a un régimen de precipitación y escurrimiento que abarca casi todo el año, teniendo como meses álgidos los meses de septiembre y octubre, dominados por eventos meteorológicos tropicales combinados con eventos meteorológicos invernales y como segundo lugar al mes de junio el cual está totalmente influenciado por eventos meteorológicos tropicales. Sin embargo la temporada de lluvias de origen tropical se extiende desde el mes de abril hasta el mes de noviembre y la temporada de lluvias de origen invernal se extiende del mes de septiembre hasta el mes de marzo.

En función de lo anterior, es necesario aprovechar los espacios del año de baja actividad de precipitación para prepararse contra las inundaciones, iniciar las medidas de prevención durante la temporada e irremediablemente aplicar las medidas de mitigación si se suscitase una emergencia hidrometeorológica.

## Antes largo plazo

A continuación se indican las medidas de largo plazo, principalmente preventivas:

- Dar seguimiento al pronóstico de precipitación a mediano plazo emitido por el Servicio Meteorológico Nacional.
- Dar estricto seguimiento a las curvas índices de los grandes embalses de los ríos de jurisdicción estatal o del Organismo de Cuenca y ajustar la operación de aquellos si los escenarios cambian a fin de asegurar el volumen de regulación de crecientes para los meses críticos.
- Revisar y reparar en su caso el equipo de bombeo y plantas potabilizadoras.
- Establecer el rol de guardias internas con personal de mando y con capacidad de decisión. El personal de guardia debe conocer a detalle los planes de atención a emergencias, para dar los avisos correspondientes, llegado el momento de una emergencia.
- Reforzar la instrumentación que mide precipitación y niveles de ríos y embalses y revisar que la existente funcione a la perfección.
- Desarrollar redes de alerta y modelos de pronóstico de crecientes, así como modelos de simulación numérica a mesoescala.
- Emitir recomendaciones por escrito a las presidencias municipales acerca del mantenimiento de cauces y estar atentos a la información meteorológica en la temporada.
- Verificar insumos en almacén tanto de los Organismos de Cuenca como en las Direcciones Locales que tienen que ver con la potabilización y saneamiento.
- Al inicio de temporada de lluvias participar en las reuniones anuales de Protección Civil, Ejército Nacional y Sector Naval.
- Dar seguimiento diario a los datos de precipitación y escala de ríos, así como del pronóstico meteorológico.
- Asesorar a los cuerpos de Protección Civil de los estados para establecer la ubicación de los probables albergues, y refugios temporales con dos objetos, el primero verificar que no se encuentren ubicados en zonas de riesgo a inundación y segundo para establecer un plan de distribución de plantas potabilizadoras de manera eficiente.



### Antes corto plazo

- Designar al personal encargado de llevar la bitácora de seguimiento y hacer la apertura oficial de la misma.
- Estimar probables escenarios meteorológicos, dar seguimiento a la evolución de fenómenos que pudieran incidir en la región.
- Alertamiento a las autoridades de Protección Civil, ejército, marina e instancias municipales y estatales.
- Maniobrar las obras hidráulicas disponibles a fin de anticipar las crecientes y generar espacio en los embalses y ríos para regularlas.
- Tomar la decisión de movilizar personal y equipo, insumos a los sitios de probable afectación.

### Durante

- Informar desde la ubicación del personal, pasando la información de los municipios bajo la jurisdicción del Organismo de Cuenca o Dirección Local a los centros operativos acerca de la evolución del fenómeno y sus afectaciones.
- Esperar a que el fenómeno haya transcurrido a tal grado que ya es posible iniciar la atención de la emergencia hidrometeorológica sin exponer la vida.
- Elaborar los diagnósticos de daños de los sistemas de agua potable.
- Elaborar los diagnósticos de daños a la infraestructura de temporal tecnificado y de distritos de riego.
- Dotar de agua potable a las instalaciones estratégicas.
- Participar en el re-establecimiento del abastecimiento de agua potable a la población civil, empezando por los albergues, dondequiera que éstos se encuentren.
- Drenar las zonas inundadas.
- Participar en el saneamiento básico.
- Vigilar la evolución de los fenómenos meteorológicos que provocaron la emergencia, así como de nuevos fenómenos que se pudieran presentar.
- Concentrar y difundir la información.
- Asistir a las reuniones con el gobierno del Estado y el gobierno municipal.
- Sostener un control administrativo.

### Recuperación

- Participación en el comité de Evaluación de Daños del FONDEN en su caso.
- Levantamiento de manchas de inundación con GPS.

- Elaboración de términos de referencia para iniciar con los estudios para establecer las soluciones de largo plazo en la mitigación de inundaciones.
- Gestión de recursos para los estudios y proyectos.
- Aplicación y seguimiento de los fondos para la reconstrucción.
- Actualización de los Atlas de Riesgos y de los Planes de Emergencia correspondientes.
- Cierre de la bitácora de seguimiento.
- Levantamiento de la emergencia.
- Cierre administrativo de la emergencia.

El propósito de los planes de atención a emergencias es distribuir un cuerpo de tareas, claro, concreto y conciso: con acciones detalladas, para la atención de emergencias hidrometeorológicas antes durante y después de un evento hidrometeorológico extremo que afecta dentro de la jurisdicción del Organismo de Cuenca o Dirección Local de que se trate.

Se puede hablar de que su total recuperación se deberá a la aplicación de tratamientos (FONDEN, seguros y presupuesto operativo) para que vuelva a la normalidad o condiciones aceptables antes del accidente.

Por su parte la CONAGUA durante la atención a una emergencia hidrometeorológica tiene varias tareas por realizar:

- Elaborar los diagnósticos de daños de los sistemas de agua potable, drenaje y saneamiento; conjuntamente con el gobierno del Estado.
- Elaborar los diagnósticos de daños a la infraestructura de temporal tecnificado y de distritos de riego construida con fondos federales para notificar a las aseguradoras acerca del daño.
- Dotar de agua potable a través de plantas potabilizadoras a las instalaciones estratégicas que están dando ayuda a la población afectada: hospitales, albergues, entre otros.
- Participar en el re-establecimiento del abastecimiento de agua potable hasta un grado aceptable de operatividad a la población afectada. (Por ejemplo, durante la atención a la emergencia del puerto de Acapulco generada por el Huracán Pauline, la CONAGUA mantuvo apoyo a la población durante 12 días hasta que se logró restablecer la operación de las fuentes de abastecimiento de agua potable).

- Drenar las zonas inundadas a través de bombeo para que puedan ser ocupadas una vez más (donde sea posible).
- Participar en el saneamiento básico de las fuentes de abastecimiento para evitar que un problema de inundación se convierta en uno de salud.
- Vigilar la evolución de fenómenos meteorológicos e hidrológicos que pudieran incidir en los sitios ya vulnerados.
- Concentrar y difundir la información acerca de la evolución en la atención del evento.
- Asistir a las reuniones con el gobierno del Estado y el gobierno municipal para informar acerca de los avances en la atención de la emergencia en el ámbito de nuestra competencia, así como en la evolución de los fenómenos que dieron origen a la emergencia.
- Sostener un control administrativo que permita el flujo oportuno de los insumos, conforme a la normatividad y que dé a conocer el monto exacto de recursos humanos, financieros y materiales que se han invertido en la atención a la emergencia.

Obtener información acerca de la operación del sistema para atención de emergencias que sirva para mejorar los planes de atención futuros.

Para cumplir con estos cometidos la CONAGUA a través del Organismo de Cuenca deberá contar con infraestructura, personal con experiencia, equipo, insumos, información, procedimientos y organización para participar con las distintas instancias involucradas en la atención a una emergencia hidrometeorológica.

## Coordinación general

Para la administración de una emergencia hidrometeorológica en la jurisdicción de un Organismo de Cuenca, quien dirige la fuerza de trabajo y toma las decisiones importantes en la atención a la emergencia, es el director general del Organismo de Cuenca.

Antes, durante y después de la emergencia, el director del Organismo de Cuenca, se mantendrá en comunicación con el director general de la CONAGUA, para recibir indicaciones e informar sobre la situación prevaleciente; estrechará la comunicación con el coordinador general de Atención de Emergencias y Consejos de Cuenca y con el gerente de protección a la Infraestructura y Atención

de Emergencias, a fin de informar sobre las acciones que se estén llevando a cabo, buscar el consenso en las decisiones importantes y de ser necesario solicitar el incremento de la fuerza de trabajo con el apoyo de personal operativo y equipo especializado de los Organismos de Cuenca más cercanos.

En vista de que el Organismo de Cuenca debe dar cumplimiento a los programas operativos anuales a pesar de la atención que demanda la emergencia, para garantizar que los documentos, procedimientos legales y los programas normales sigan su curso, queda al mando de la misma un suplente con capacidad jurídica y legal para emitir documentos propios de la dirección general de un Organismo de Cuenca.

La misión del coordinador general de la emergencia será, con los elementos de juicio disponibles, tomar las decisiones ejecutivas cuando sea necesario o en comité cuando sea posible, para movilizar recursos humanos, equipos e insumos y recursos financieros para atender antes, durante y después una emergencia hidrometeorológica en el ámbito de jurisdicción del Organismo de Cuenca.

Para tal efecto y con el objeto de verificar que se cuenta con todos los elementos para afrontar una emergencia hidrometeorológica, es necesario verificar el siguiente listado:

1. ¿Se tienen los nombres y teléfonos a quién comunicar la alerta?
  - I Oficinas del Gobernador.
  - II Secretario de Gobierno.
  - III Protección Civil.
  - IV Ejército.
  - V Armada.
  - VI Presidentes municipales con posibilidad de afectación.
2. ¿Ya se revisó la fuerza de tarea?
  - I ¿Tiene nombres y medios para comunicarse con ellos?
  - II ¿Equipo de trabajo?
  - III ¿Vehículos?
  - IV Ubicación
3. ¿Está definido el centro de operación y quién será el representante operativo? ¿Ya se le comunicó a los capitanes de la fuerza de tarea y Oficinas Centrales?
4. ¿Ya se tienen calculadas necesidades?
  - I ¿Dinero en efectivo?
  - II ¿Gasolina?

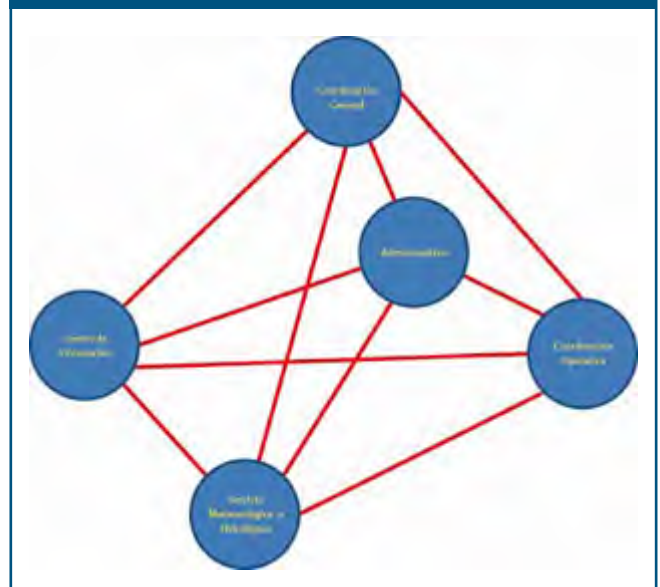
- III ¿Formatos para informes?
- IV ¿Teléfono satelital con pilas suficientes?
- V ¿Plata coloidal?
- VI ¿Equipo PIAE en condiciones de trabajo?
- VII ¿Base de datos por municipios para la zona en peligro, número de sistemas, mayores y menores a 2,500 habitantes?
- VIII ¿Ya se realizó la regionalización de la zona de impacto?
- IX ¿Quién va a cada zona y cuántos sistemas va evaluar?
- X ¿Quién va a cada distrito de riego y temporal?
- XI ¿Se requiere de apoyo de brigadas de direcciones de otros Organismos de Cuenca o Direcciones Locales? ¿Cuántas? ¿Ya se solicitó a la Coordinación de Atención a Emergencias y Consejos de Cuenca?
- XII ¿Ya se tiene el formato de FONDEN?
- XIII ¿Se cuenta con el catálogo de precios unitarios actualizado?
- XIV ¿Se tienen por municipios las posibles zonas de inundación?
- XV ¿Ya se giraron indicaciones a los organismos operadores para que tengan tanques de almacenamiento llenos con válvulas cerradas? ¿Para utilizarlos para consumo humano después del evento?
- XVI ¿Ya se les comunicó a los organismos operadores que deben tener un inventario de la existencia de tubería y piezas especiales en sus almacenes?
- XVII ¿Ya se les indicó a los organismos operadores que apaguen los motores de las bombas y corten la electricidad antes del evento, para evitar cortos circuitos?
- XVIII ¿Ya se cuenta con la metodología que se debe utilizar para probar electromecánicamente los motores de los pozos y de bombeo directo después del evento?
- XIX ¿Ya se tiene la metodología, equipo de comunicación y listado de personal, para el llenado de los acueductos después del evento?
- XX ¿Ya se proporcionó el número de teléfono satelital del coordinador general a las Oficinas Centrales de la CONAGUA, así como a todos aquellos que pudieran requerirlo, oficina del gobernador, Protección Civil, entre otros?
- XXI ¿Ya se estableció la estrategia de comunicación con las brigadas? ¿Se cuenta con radios suficientes, así como su distribución?
- XXII ¿Se tiene a la mano la lista de bienes asegurados?

- XXII ¿Se tiene a la mano la relación de empresas, maquinaria y localización?
- XIII ¿Ya se tomó la previsión de tener una planta de energía en el centro de operaciones?

## Estructura operativa

El director general del Organismo de Cuenca cuenta con una estructura operativa para la atención a la emergencia, se trata de una estructura horizontal que le da sustento a la coordinación general y se describe con la siguiente figura:

**Figura 1. Estructura tipo de un OC para la atención a emergencias hidrometeorológicas.**



### Coordinación operativa. Estará a cargo de:

1. El coordinador de Atención a Emergencias y Consejos de Cuenca: área responsable de mantener comunicación estrecha con el Sistema Estatal de Protección Civil y coordinar las actividades de apoyo a la población, como dotar de agua potable a través de plantas potabilizadoras, drenar zonas inundadas con equipo de bombeo; para el desarrollo de esa función, cuenta con personal técnico y operativo adscrito a la jefatura de proyecto de Protección a la Infraestructura y Atención de Emergencias y equipo especializado, ubicado en el Centro Regional de Atención de Emergencias más cercano; así como personal y equi-



po a cargo de la Brigada de PIAE, de las Direcciones Locales en la jurisdicción del Organismo de Cuenca.

2. El director de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento: evaluar el estado de la infraestructura de agua potable en cuanto la emergencia lo permita y como máximo en los primeros 5 días posteriores a la solicitud de la declaratoria de desastre, coadyuvar en las acciones para dotar de agua potable por lo menos con 7 litros/hab/día a los habitantes afectados, sanear fuentes de abastecimiento y estabilizar lodos de las plantas potabilizadoras y de tratamiento.
3. El director de Infraestructura Hidroagrícola. Para la evaluación de infraestructura hidroagrícola en cuanto la emergencia lo permita, en los primeros 5 días posteriores a la solicitud de la declaratoria de desastre.

### Servicio meteorológico e hidrológico:

Está a cargo del director técnico y en suplencia o complemento con centros operativos foráneos el jefe de proyecto de hidrometeorología asumirá tal rol.

Su misión es:

“Vigilar la evolución de fenómenos meteorológicos e hidrológicos que pudieran incidir en los sitios ya vulnerados; asegurarse de que las redes de medición climatológica, hidrométrica y meteorológica continúen generando información útil para la toma de decisiones, realizar el pronóstico de precipitación y crecientes para anticipar las acciones en la atención a la emergencia”.

Recopilar la información de las estaciones climatológicas para la atención inmediata de solicitudes de diagnósticos climatológicos para el uso de recursos del FONDEN y del PACC, en cuanto la emergencia lo permita.

### Centro de información:

Estará a cargo del director del REPDA y en suplencia o complemento con centros operativos foráneos se nombrará un suplente para tal efecto.

Su misión es:

“Realizar el acopio de la información que generan el área administrativa, el servicio meteorológico e hidrológico, la coordinación operativa, con el objeto de llevar el registro de la evolución de la atención a la emergencia, integrar informes y presentaciones para informar a la instancias de los tres niveles de gobierno acerca de la participación de CONAGUA, y dotar de información

a la coordinación general para tener elementos de juicio y orientar las decisiones de la atención a la emergencia”.

### Administrativo:

Está a cargo del director de administración, quien asumirá la misma función en los centros operativos foráneos.

Su misión es:

“Suministrar oportunamente los insumos, recursos financieros y servicios para que se atienda la emergencia de manera eficiente, conforme a la normatividad; ejercer un control estricto de los recursos humanos materiales y financieros que se ejecutan durante la emergencia y dotar de un balance de los recursos aplicados al final de la emergencia, así como encargarse del cierre financiero de la misma”.

### Atención de la emergencia

Para la atención oportuna de la emergencia, se sostendrán reuniones de coordinación con el directorado del OC, donde se pasará lista y de preferencia se invitará al OIC, conforme a la siguiente orden del día:

La conclusión de un operativo bien llevado, dará suficientes elementos de juicio para cerrar administrativamente la emergencia y habrá generado datos claves para analizar la incidencia del fenómeno que impacto para iniciar la etapa de recuperación. En cualquier caso, el seguimiento de la emergencia mediante la bitácora podrá indicar en dónde se actuó de una manera aceptable y en dónde se podrá mejorar en futuros eventos.

Ejemplo de bitácora		
1 min	Inicio de la reunión	Director general del OC-CONAGUA
10 min	Descripción del fenómeno perturbador	Dirección técnica
10 min	Estrategia para movimiento de brigadas y equipo	Coordinación a Atención a Emergencias y Consejos de Cuenca
30 min	Informe de acciones y reportes de las brigadas	Cada director, conforme a sus actividades establecidas en este manual
10 min	Recapitulación de acuerdos y acciones	Coordinador del centro de información
5 min	Cierre de la reunión	Participantes

## Planes de control de inundaciones

En el ejercicio de la etapa de recuperación que es el término más universal, también llamado la etapa de reconstrucción, se buscarán establecer las medidas de mediano plazo para mitigar los riesgos que dieron lugar a la emergencia hidrometeorológica y posteriormente entrar en la etapa de recuperación.

La legislación mexicana a través de las reglas de operación del FONDEN, prevee recursos, para el sitio donde el impacto de un fenómeno hidrometeorológico haya derivado en un desastre natural, que permitan entrar a una etapa de reconstrucción donde se re-establezca la infraestructura de vivienda, caminos, hidráulica y se vuelva a la normalidad, incluso mejorarla bajo esquemas de ajuste del riesgo.

El gobierno federal también ha introducido en sus programas operativos el desarrollo de infraestructura que permita mitigar los riesgos a las inundaciones como es el programa KO29 “Protección a centros de población”.

Bajo este esquema se ha desarrollado infraestructura estratégica en el territorio mexicano para la mitigación de los efectos negativos contra las inundaciones.

Sin embargo, los esquemas presupuestales para que la infraestructura se desarrolle, no representa el principal reto en la mitigación del riesgo a las inundaciones. Existen registros del desempeño de infraestructura de protección que ha sido rebasada por la naturaleza hechos que obliga a replantear conceptualmente la estrategia asumida para el manejo de riesgos.

En este sentido existen dos enfoques en el mundo para el desarrollo de infraestructura de protección contra inundaciones:

1. Política resistente
2. Política resiliente

### Política resistente

Básicamente consiste en proteger los terrenos ganados por la actividad humana, con infraestructura de protección contra inundaciones, bordos y espigones primordialmente, conforme se desarrolla más infraestructura bajo este esquema, menos lugar queda disponible para que las inundaciones distribuyan todo el volumen que traen consigo.

Por lo regular se busca que el nivel máximo alcanzado por una creciente hipotética o calculada estadísticamente sea contenido por un bordo de dimensiones mayores a la altura que desarrolla esta creciente hipotética.

La desventaja más evidente de asumir esta estrategia consiste en que el tiempo de drenado de las crecientes e inundaciones no es un elemento de diseño relevante, por lo regular esta concepción de obras tiene éxito en la regulación de las crecientes tempranas de la temporada álgida de lluvias (septiembre y octubre) pero en el manejo de sistemas llenos y crecientes sucesivas en períodos cortos su desempeño en varias ocasiones es superado por la acción de las crecientes.

### Política resiliente

La resiliencia es un concepto asociado a la física de los materiales, que tiene que ver con su capacidad de volver a su estado original una vez que fueron sometidos a un efecto perturbador.

En manejo de crecientes e inundaciones, aplica a adaptar las obras a la red de ríos y planicies de inundación, obedeciendo a privilegiar el funcionamiento natural de los ríos en lugar de modificarlos en aras de proteger sitios contra inundaciones, este enfoque privilegia el drenado rápido de los cauces y las planicies de inundación sobre la política de construir bordos cada vez más altos con el objeto de resistir las inundaciones. El drenado rápido como elemento de diseño, permite que en eventos sucesivos la cuenca tenga capacidad de recibir nuevas crecientes en vista de que ya se atendieron las recientemente recibidas.

Las desventajas de esta política residen en la necesaria disposición de vastas zonas de inundación para que los desbordamientos tengan lugar, esto implica que habrá terrenos con evidente riesgo a inundación, con el objeto de que el agua no busque espacio donde hay más gente o más inversión. Esto también implica que las políticas de ordenamiento territorial deberán ser más estrictas.

En contraste, la política resiliente es la que mejor se adapta a los cambios que la naturaleza pudiera asumir, porque la imita, en lugar de resistirse a ella.

De las experiencias vividas en el pasado de los desastres en México la CONAGUA ha asumido como una política de desarrollo de infraestructura, el permitir el drenado en lugar de privilegiar el almacenamiento y la adaptación sobre la resistencia.

## Planes de protección civil

Este plan obedece a un marco universal más amplio que el establecido para los planes de atención de emergencias de la CONAGUA, quien tiene un papel protagónico dentro de este plan interinstitucional. Asimismo se expresa su desarrollo en la unidad mínima operativa en este tipo de planes, que aplica en los municipios.

También contiene una serie de recomendaciones generales para que, tanto los presidentes municipales como los responsables en ese nivel de protección civil, puedan implementar el plan que responda a las necesidades reales del municipio.

Por último se propone que se realice la evaluación del plan, para que los participantes y usuarios confirmen su utilidad, enriquezcan y adecuen a sus propias necesidades todas y cada una de las actividades propuestas, haciéndolo cada vez más propio al responder a las características y necesidades del municipio de que se trate.

Con la experiencia que se ha logrado en protección civil en cuanto a la importancia que tiene la participación solidaria de los tres niveles de gobierno y los sectores sociales para prevenir y enfrentar las diversas calamidades

registradas en la entidad, este plan se impulsa con la finalidad de aplicar las medidas, que permitan proteger al individuo, y a la sociedad en su conjunto, sus bienes y el entorno ecológico ante la inminente presencia de la temporada de lluvias y ciclones tropicales.

### Objetivo general

Orientar a las autoridades municipales y a las unidades municipales de protección civil en la elaboración e implementación de su plan operativo municipal de protección civil para la temporada de lluvias y ciclones tropicales, con la finalidad prevenir, mitigar o disminuir los daños a la población, sus bienes y entorno ecológico.

### Objetivo del plan

Establecer las estrategias para evitar o disminuir los riesgos a los que están expuestos el individuo en lo particular y la sociedad en su conjunto, sus bienes y el entorno ecológico durante el período de lluvias y ciclones tropicales, mediante medidas y acciones de protección civil, que en forma solidaria se realicen con los diversos sectores que integran la sociedad.



Bordo superado por la elevación de la superficie del agua durante un evento inundante.

## Objetivos específicos

- Estructurar mecanismos de coordinación y enlace para atender con eficiencia y oportunidad los casos de emergencia.
- Fortalecer las labores preventivas y de autoprotección en la población.
- Involucrar a dependencias federales, estatales, municipales y sociedad civil en las acciones de prevención y control.
- Establecer acciones de coordinación y comunicación interinstitucional para prevenir con oportunidad los efectos provocados por los diversos fenómenos hidrometeorológicos.

Dentro del Sistema Nacional de Protección Civil, las tareas más destacadas de la CONAGUA son:

- Proporcionar el pronóstico del clima a muy corto, corto, mediano y largo plazo al sistema estatal de Protección Civil, medios de comunicación y población en riesgo, sobre la ocurrencia de fenómenos extremos durante su formación, desarrollo y disipación.
- Analizar y mantener los registros de la evolución de los almacenamientos en vasos, embalses y flujo de las corrientes en los ríos a la vez que difunde los estudios, trabajos y servicios meteorológicos.
- Vigilar la evolución de meteoros que puedan incidir en los escurrimientos de los ríos y en los almacenamientos de los embalses, para prevenir daños por crecientes y proteger contra inundaciones a los centros de población y áreas productivas.
- Monitorear y analizar las condiciones atmosféricas, mediante la implementación de los registros de la ocurrencia, magnitud y duración de las lluvias, para pronóstico de avenidas, prevención de inundaciones y previsión de sequías.
- Promover y apoyar mediante operativos preventivos y emergentes, la protección, instalación y desinfección de fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humano.
- Clasificar las zonas en atención a riesgos de posible inundación, mediante la emisión de las normas y recomendaciones necesarias, estableciendo las medidas de operación, control y seguimiento y aplicación de los fondos de contingencia que se integran para tal efecto.

- Construir y operar según sea el caso, las obras para el control de avenidas y protección de zonas inundables, así como caminos y obras complementarias que hagan posible la protección a centros de población, áreas industriales y en general a las vidas de las personas y sus bienes, a través de la coordinación con los tres niveles de gobierno y en concertación con personas físicas o morales.
- Proporcionar la asesoría y apoyo técnico que se le requiera, para el diseño y construcción de las obras que controlen corrientes de propiedad nacional, así como las relativas a la delimitación de zonas federales.
- Determinar el grado de vulnerabilidad de sus instalaciones ubicadas en zonas de peligro, detectar los posibles riesgos derivados de otros fenómenos y establecer las medidas preventivas correspondientes en coordinación con las autoridades locales respectivas.
- Fomentar el establecimiento de programas integrales de control de avenidas y prevención de daños por inundaciones, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativas que al efecto se requieran.
- Desarrollar y operar redes meteorológicas.
- Analizar y registrar la ocurrencia, magnitud y duración de las lluvias, a fin de pronosticar avenidas y prevenir inundaciones.
- Promover y apoyar mediante operativos preventivos y emergentes, la protección de fuentes de abastecimiento de agua para uso y consumo humano.
- Propiciar la instalación de equipos de desinfección en sistemas de abastecimiento de agua.
- Realizar las acciones que permitan restablecer el funcionamiento normal del sistema de suministro de agua en la zona devastada.

## Actividades y acciones de un plan operativo de protección civil en el ámbito municipal

1. El secretario técnico del sistema municipal de protección civil convocará por escrito a los integrantes del consejo estatal de protección civil para realizar una reunión de trabajo donde se expondrá la metodología y logística a seguir, durante la temporada de lluvias y ciclones en puerta. En caso de que no esté conformado; invitará a una reunión a los representantes de los sectores: público representados local o regionalmente

- (federal, estatal y municipal), privado y social de su municipio, con la finalidad de implementar el plan, definiendo las acciones y los recursos materiales que cada participante deberá realizar o aportar dentro de sus capacidades al plan. Se sugiere invitar invariablemente a las autoridades militares y coordinaciones regionales de protección civil.
2. En la reunión, el presidente municipal solicitará la participación en el plan de todas las dependencias, entidades, instituciones y organismos invitados, para lo cual, el responsable de la unidad municipal de protección civil o quien el presidente municipal designe, junto con un equipo laboral, habrá hecho un trabajo preliminar que ahí dará a conocer, en el cual:
    - a) Se identificarán las zonas y tipos de riesgos que puede presentarse por la presencia de la temporada de lluvias y ciclones, localizando y señalando los lugares en el mapa del municipio.
    - b) Se identificarán los problemas que se acrecientan por la presencia de calamidades provocadas por los fenómenos hidrometeorológicos, entre los más frecuentes se encuentran:
      - Problemas de salud por ingestión de alimentos y bebidas contaminadas.
      - Aumento de demanda de medicamentos.
      - Aumento y acumulación de basura.
      - Accidentes en carreteras.
      - Aumento de la demanda de servicios de taxis.
      - Ocurrencia de personas extraviadas.
      - Alteración de los precios en productos y servicios.
      - Demanda extraordinaria de reparación de vehículos.
      - Interrupción del servicio de energía eléctrica.
      - Interrupción del servicio de agua potable.
      - Azolvamiento del alcantarillado sanitario y pluvial.
      - Caída de árboles y anuncios espectaculares.
      - Contaminación de fuentes de abastecimiento de agua.
      - Interrupción de vías de comunicación y sistemas vitales.
      - Desgajamiento de cerros.
      - Ausentismo en escuelas y oficinas.
      - Cierre temporal de puertos y aeropuertos.
      - Interrupción del abasto de alimentos.
      - Interrupción del abasto de combustibles.
      - Daños a la agricultura y ganadería.
    - c) Se definirán las acciones para aminorar los riesgos y proteger a la ciudadanía, en la temporada de lluvias (consecuentes a los problemas planteados en el inciso anterior, los satisfactores que pueden cubrir las necesidades que se detectan están señalados en todas y cada una de las acciones de los participantes del plan).
    - d) Se delimitará la zona de aplicación del plan, con base en la identificación de riesgos del inciso a, dividiéndola por zonas o sectores que deberán ser atendidos por las diversas dependencias, procurando que toda esté cubierta.
    - e) Se designará al coordinador del plan, que deberá ser el responsable o jefe de la unidad municipal de protección civil o la persona que designe el presidente municipal.
    - f) Se deberá instalar un centro de comunicaciones con personal que tenga conocimientos en manejo de equipos de radiocomunicación, realizando guardias que permitan cubrir servicios de 24 horas, donde se recibirá la información sobre el desarrollo del plan y sirva como canal único de comunicación para recibir y canalizar las solicitudes de auxilio.
    - g) Se establecerán las comisiones o grupos de trabajo necesarios con las dependencias participantes del plan. Dentro de ellas, los cuerpos de seguridad y vigilancia establecidos en el municipio, deberán de realizar la vigilancia de ríos, afluentes, cuerpos de agua, arroyos secos. Previo avisos de alertamiento, momentos antes de presentarse lluvias intensas y en caso de amenaza por desbordamientos o avenidas repentinas inminentes, se procederá a efectuar la evacuación de la población a sitios seguros, conduciendo a las personas a refugios o albergues previamente identificados.
    - h) Cuando el siniestro se suscite en el municipio, deberá de darse aviso de inmediato a la unidad municipal de protección civil y éste a su vez al centro estatal de operaciones de la subsecretaría de protección civil.
      - Daños a viviendas.
      - Daños a puentes, vados y caminos.
      - Creciente de ríos.
      - Arrastre de piedras, árboles y depósito de lodo.
      - Encharcamientos.



1. Se establecerá un programa de reuniones parciales de evaluación o generales con los representantes de las dependencias o las comisiones participantes del plan para ir afinando la intervención y definiendo con precisión las responsabilidades consecuentes y los recursos que van a aportar, culminando con la reunión plenaria ante los medios de comunicación, en donde se dará a conocer el plan.
2. Cada participante deberá contar con un mapa del municipio en donde se hayan identificado las zonas que abarque el plan y los sectores en los que se haya dividido, así como los diversos módulos de atención y la ubicación de las fuerzas operativas del plan, con el propósito de que todos tengan la misma información y se facilite la intercomunicación.
3. Se designará el lugar, fecha y hora para realizar diariamente las reuniones de seguimiento del plan, tanto en su etapa de preparación como la de operación, donde cada dependencia o comisión entregue su reporte para integrar el informe diario que se transmitirá al presidente municipal o la autoridad estatal correspondiente, obteniéndose información veraz que podrá ser canalizada hacia los diversos medios de comunicación social.
4. Cada zona deberá contar con los requerimientos mínimos apropiados y suficientes para atender una emergencia, de acuerdo con el tipo de riesgo que se haya identificado.
5. Con el propósito de orientar las acciones de la población será necesario difundir por los medios masivos de comunicación el plan operativo, así como la ubicación de los diferentes módulos de servicio que se establezcan, ya sean de información, de salud, de quejas, de auxilio, entre otros.
6. Se establecerá el mecanismo mediante el cual se dará la alerta a la población en caso de emergencia; para esto es necesario la participación de la misma a través de los ejercicios de simulacros.
7. Al finalizar la operación del plan, se realizará una reunión de evaluación para supervisar las acciones realizadas en los niveles de mando o direcciones, incorporar las modificaciones necesarias al mismo, con el propósito de mejorarlo.
8. El municipio deberá llevar a cabo cursos de capacitación y difusión de medidas preventivas, principalmente en comunidades, colonias, rancherías o cantones, sujetas a alto riesgo por inundaciones, deslaves o derrumbes que estén asentadas en laderas inestables o cerca de ellas o próximas a antiguos cauces y sitios donde se llevaron a cabo obras recientes, previendo con ello, daños adicionales por avenidas repentinas, desbordamientos de ríos, deslizamientos de suelos, derrumbes, movimientos de rocas de gran tamaño, entre otros.
9. Cuando existan alertamientos por lluvias, se deberá orientar a la población a través de los medios de difusión o comunicación a su alcance, proporcionando información de una manera clara y objetiva, evitando la propagación de rumores que originan situaciones de crisis adicionales. En caso de que el municipio se vea amenazado por la trayectoria de un huracán, se llevarán a cabo acciones de salvaguarda que permitan a la población ubicarse en lugares seguros, previamente identificados, los que podrán establecerse de preferencia en zonas altas, permitiendo con ello acciones de carácter preventivo más eficaces.
10. Con el fin de coadyuvar en el monitoreo de las condiciones del tiempo en un municipio, es necesario implementar un sistema de medición pluvial que permita conocer la cantidad de lluvia acumulada.

## Planes de atención a la salud

En este aspecto, las acciones de la CONAGUA se enmarcan en dos actividades inmediatas:

- Abastecimiento de agua potable.
- Saneamiento básico.

### Abastecimiento de agua potable

#### Patrones a identificar:

- Después de un desastre el agua se torna en el producto más valioso, por ser indispensable para mantener la vida humana, ya que por lo general los sistemas de abastecimiento, alcantarillado y tratamiento se encuentran dañados.
- En algunas ocasiones los ciclones se presentan con fuertes vientos que derriban los postes de energía eléctrica motivando la suspensión del servicio. Cuando en las localidades el suministro de agua potable es por bombeo se interrumpe este servicio, a pesar de no sufrir daños las fuentes y sistemas de distribución.

- La presencia de ciclones, precipitaciones extraordinarias y fuertes vientos pueden ocasionar daños considerables en las fuentes de abastecimiento y los sistemas de distribución de agua potable de las poblaciones que se ven afectadas por estos fenómenos.
- Cuando se presenta alguna de estas situaciones, la Comisión Nacional del Agua, participa de manera coordinada con otras instituciones para atender las necesidades de suministro de agua potable en las poblaciones que sufren carencia o deficiencia del vital líquido, mientras se restablece su abastecimiento y distribución cotidiana.

#### **Acciones a ejecutar:**

1. A través de brigadas y en coordinación con protección civil, se toma parte en el empaque y distribución de agua embotellada a la población damnificada.
2. A través de brigadas se recibe el reporte de albergues, en los cuales posteriormente se verifican condiciones técnicas y dado el caso de número de albergados se procede a instalar una planta potabilizadora. El número mínimo de abastecidos que justifica desplazar una planta potabilizadora es de 1000 albergados; se debe considerar un suministro mínimo de 7 litros por persona en situación de emergencia, tomando en consideración que una planta potabilizadora portátil de características iguales a las que se tienen en los CRAE(S), suministra aproximadamente 1 litro/segundo de agua potable.
3. Paralelamente, en coordinación con la dependencia estatal de agua y saneamiento y con los organismos operadores municipales, se realiza un diagnóstico de las condiciones operativas del sistema, partiendo de las localidades de mayor a menor habitantes, mientras que se dictamina el porcentaje de cobertura de abasto en forma global, se identifican fuentes auxiliares, superficiales y subterráneas.
4. Se complementará el abasto a través de pipas y/o "Tinacos plásticos" montados en vehículos.
5. Una vez evaluadas las condiciones, se propone la atención provisional del abasto mediante el sistema de agua, apoyándose en todas las condiciones antes mencionadas incluyendo la reactivación de pozos profundos y la conexión temporal de nuevos manantiales, la participación de la CONAGUA se limita por los componentes integrados de captación y

línea de conducción; salvo excepciones en las cuales la problemática lo amerite, se revisan superficialmente tanques y redes, en los cuales principalmente se verifica su existencia y se evalúa el nivel de desinfección del agua.

#### **Saneamiento básico**

Consiste en establecer acciones en coordinación con el Sector Salud, que permitan vigilar y mantener la calidad del agua en condiciones aptas para uso y consumo humano.

#### **Acciones a ejecutar:**

- Coordinar con el Sector Salud y autoridades locales, una reunión previa al inicio de las actividades, donde se explicará el objetivo de la prevención de enfermedades de origen hídrico y las razones para llevar a cabo el operativo.
- Establecer e integrar con las instancias participantes, sus recursos, áreas de trabajo, equipo, materiales, acciones a realizar, la duración de las mismas y sobretodo las responsabilidades correspondientes de cada dependencia con objeto de optimizar todos los recursos que se disponen.
- Concertar con el Sector Salud, autoridades del estado, municipales y locales, las cantidades de hipoclorito de calcio, plata coloidal y calhídra con que participaran cada una de las instancias en los operativos.
- Verificar que las fuentes de abastecimiento se encuentren protegidas, si por el contrario no lo están, promover con las autoridades estatales, municipales y locales para que realicen los trabajos correspondientes de tal manera que las fuentes estén debidamente protegidas y evitar con esto, su contaminación.
- Verificar que aguas arriba de la toma derivada de ríos o canales, no existan descargas de aguas residuales cercanas o fuentes de contaminación de cualquier tipo.
- Verificar que los pozos o norias estén protegidos con brocal de manera que los escurrimientos no ingresen a la misma, promoviendo en caso de que no cuenten con dicho brocal, la protección de los mismos.
- Verificar que la red del sistema de agua sea muestreada para verificar el cloro residual libre.
- Verificar que en sitios de alto riesgo y mayor concentración de población tales como: hospitales, terminales de autobuses, mercados, escuelas, entre otros; se

- realice la desinfección del agua en depósitos y tanques de almacenamiento.
- Verificar que se realice el encalado de zonas insalubres o focos de infección tales como, excretas o fecalismo al aire libre, animales muertos, basureros, aguas estancadas por mucho tiempo que producen malos olores, así como encharcamientos que puedan desarrollar el mosquito transmisor de varias enfermedades.
- Vigilar el adecuado manejo, uso, distribución y aplicación del insumo.
- Informar diariamente de las acciones de los operativos en el formato que existe para tal fin al centro de información.
- Presidencia de la República. *Plan Nacional de Infraestructura 2007-2012*.

## Reflexiones

La ONU a solicitud de la presidencia de la república envió a expertos en administración de desastres a México durante el inicio del 2008, con el objeto de intercambiar conocimientos y técnicas en la administración de desastres, La ONU a través del PNUD ha calificado nuestro Sistema Nacional de Protección Civil, como robusto en sus etapas de antes, corto plazo, durante y después. Y ha señalado la oportunidad de fortalecer los planes de largo plazo, la planeación urbana y territorial, como medidas efectivas en la reducción de la vulnerabilidad ante los eventos hidrometeorológicos extremos, tales como las inundaciones.

## Referencias bibliográficas

- CONAGUA, Organismo de Cuenca Frontera Sur. *Manual de Administración de Emergencias Hidrometeorológicas*, 2008.
- CFE, Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil, Departamento de Hidráulica. *Plan Integral Contra Inundaciones*, 2003.
- Resumen ejecutivo del IV Foro mundial del agua, *THEMATIC DOCUMENT FRAMEWORK THEME 5*
- *Risk Management 4<sup>th</sup> World Water Forum*, Mexico City, March 2006.
- PNUD. *Guía para la elaboración del Plan Operativo de Protección Civil para la temporada de Lluvias y Ciclones Tropicales*, 2008.
- PNUD ONU. *Plan de recuperación*, 2008.



## 1.6 Leyes y normas (FONDEN, zonas federales)

### Marco de referencia

Históricamente la humanidad ha venido utilizando el medio ambiente en su favor, sin embargo la explotación de los recursos naturales no la ha realizado de manera racional sino a ultranza, alterando en medio ambiente, entre otros efectos dañinos destacan la contaminación del aire, agua y suelo y provocando la deforestación, entre otros; contribuyendo con esto a la aceleración y magnificación de los daños provocados por fenómenos hidrometeorológicos.

En México la precipitación media anual es del orden de 780 mm. En la región norte del país la precipitación media anual es del orden de los 300 mm en el sureste es superior a los 2,000 mm y en la región centro es de 500 mm, por lo que los escurrimientos en los ríos se distribuyen irregularmente en el tiempo y el espacio. De tal forma que en algunas zonas se presentan problemas de escasez, mientras que en otras problemas de inundación y drenaje insuficiente.

Asimismo, debido a las particularidades del territorio nacional, que se encuentra situado en el paso de las trayectorias de los ciclones que se forman cada año en los océanos Atlántico y Pacífico, y el mar Caribe, las condiciones climáticas provocan con frecuencia eventos catastróficos de origen hidrometeorológico (tormentas, inundaciones, sequías), además al combinarse con factores geológicos y geomorfológicos inciden en deslizamientos de laderas, erosión y avalanchas.

Innumerables asentamientos humanos se han establecido y desarrollado en las inmediaciones de los cuerpos de agua. En ese sentido, en México se han creado varias ciudades en las riberas de los ríos y lagos, entre ellas: Ciudad de México, D.F.; Villahermosa, Tab.; Tuxtla Gutiérrez y Tapachula, Chis.; Tulancingo, Hgo.; Tampico, Tamps.; Monterrey, N.L.; Celaya, Gto.; Torreón, Coah.; Chapala, Jal.; Pátzcuaro, Mich.; Metztitlán, Hgo.; Piedras Negras, Coah.; entre otros.

Originalmente los centros de las poblaciones ribereñas se encontraban fuera de las zonas de inundación, pero con el crecimiento demográfico se incrementan

las necesidades para el bienestar de la población, entre ellos el suministro de agua para uso y consumo humano y el de la vivienda, por lo que el desarrollo urbano irregular se llevó a cabo invadiendo zonas potencialmente inundables.

Se ha construido infraestructura hidráulica para protección contra inundaciones, acueductos, plantas potabilizadoras y de tratamiento, así como presas de almacenamiento con el fines de suministro de agua para uso y consumo humano, municipal, industrial, riego, generación de energía eléctrica, control de avenidas, piscicultura, entre otros. Sin embargo, de fallar técnicamente estas obras, constituyen un peligro potencial para las poblaciones e infraestructura localizada en las zonas inundables o aguas abajo de presas de almacenamiento. Lo anterior, debe ser considerado ya que los desastres asociados con el agua, ocasionan graves daños a la población e infraestructura.

Las inundaciones son el flujo o invasión de agua por el exceso de escurrimiento superficial o por acumulación en los terrenos planos provocada por insuficiencia de drenaje natural o artificial. Pueden ser consecuencia de fenómenos hidrometeorológicos (lluvia, huracanes, frentes fríos, entre otros), de la falla de algunos sistemas hidráulicos (presas, bordos, diques, entre otros) y en ocasiones son inducidas.

La magnitud de una inundación provocada por fenómenos hidrometeorológicos, depende de la intensidad de la lluvia, su distribución en el espacio y tiempo, tamaño y forma de las cuencas hidrológicas, así como de las características del suelo, vegetación, drenaje natural o artificial entre otros factores.

La inundaciones afectan a la población en sus bienes muebles e inmuebles, en ocasiones alteran los cauces, dañan la infraestructura urbana, hidráulica, hidroagrícola, vías de comunicación, entre otros; ocasionando costos económicos, sociales y políticos al país.

El marco legal que rige tanto la atención como la prevención de estos fenómenos se basa en el artículo 27 constitucional, del cual se desprende que los cauces de los ríos son bienes inherentes a las aguas nacionales, por lo cual son propiedad de la nación.

Ahora bien, si bien es cierto, que en el artículo 27 constitucional, no se señala de manera textual que la infraestructura que se encuentra en los cauces de las aguas nacionales sea propiedad de la nación, no debe

perderse de vista que la infraestructura administrada por los gobiernos federales, estatales o municipales, es clasificada como “bienes nacionales”, conforme a la Ley de la materia, en su Artículo 3.

Lo anterior se explica, considerando que la naturaleza de dicha infraestructura necesariamente se encuentra ligada al uso, explotación y aprovechamiento de las aguas nacionales, actualizándose el principio de derecho de que lo “accesorio sigue la suerte de lo principal”.

De acuerdo a lo anterior, debido a que la infraestructura vulnerable y sujeta a riesgos por los efectos derivados de las inundaciones, es administrada por diversas dependencias y entidades del gobierno federal, para la participación de cada una debe considerarse lo indicado en la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, en la cual se establecen las bases de organización para la administración pública federal centralizada y paraestatal, en consecuencia en ella se especifican las atribuciones y competencias de cada una.

En este contexto no debe perderse de vista, que en los casos de eventos hidrometeorológicos extremos, los efectos dañinos de estos fenómenos no se constriñen exclusivamente a la infraestructura hidráulica, sino que se ven afectados, vías de comunicación, ductos, escuelas, hospitales, equipamiento urbano, entre otros; de manera tal que se ven afectados “bienes nacionales” cuya administración es competencia de otras dependencias, entidades y ordenes de gobierno, quienes en el ámbito de sus competencias deben interactuar con la Comisión Nacional del Agua a efecto de prevenir riesgos y tomar medidas en caso de que se presenten contingencias derivadas de fenómenos hidrometeorológicos.

## Diagnóstico

Los desastres ocasionados por fenómenos hidrometeorológicos son cada vez más frecuentes y ocasionan mayores daños.

Como ejemplo de inundaciones recurrentes podemos señalar que en 1995, la Ciudad de Villahermosa, debido al paso de los huracanes Opal y Roxana, sufrió grandes inundaciones, posteriormente en 1999 se inundó debido al paso del frente frío No. 11 y en el año 2007, nuevamente sufrió grandes inundaciones.

En la zona costera del Estado de Chiapas, debido a los efectos de un frente frío en 1998, sufrió grandes

inundaciones acompañadas de avalanchas de azolve. Este fenómeno se repitió en el año 2005, derivado de un frente frío y los efectos del huracán Stan.

Otro ejemplo es lo ocurrido en la zona costera del Estado de Veracruz, ya que en 1999 debido a fuertes precipitaciones se presentaron desbordamientos en los ríos comprendidos desde el Tecolutla hasta el Coatzacoalcos, ocasionando severos daños a los centros de población, e infraestructura. Este fenómeno volvió a ocurrir en 2006.

Referente a desastres de gran magnitud ocasionados por fenómenos hidrometeorológicos, ocurridos en la última década del siglo pasado, y que provocaron cuantiosos daños a la economía regional y del país se citan los siguientes:

- 1997, el Huracán Pauline, afectó la bahía y Puerto de Acapulco, Gro., así como la zona de la Costa Chica de Guerrero y parte de Oaxaca.
- 1998, El Frente Frío No. 11 y los efectos del Huracán Stan, causaron severas inundaciones en la zona Costera del Estado de Chiapas.
- 1999 El huracán y el frentes frío No. 11 afectaron la zona costera del Estado de Veracruz y al Estado de Tabasco.

Para atender la situación de emergencia derivado por desastres naturales hidrometeorológicos, el gobierno federal en el año 1999 Instrumentó las reglas de operación del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN). Dicho fondo existe desde 1996 y es un instrumento financiero del Sistema Nacional de Protección Civil, y tiene como objetivo atender los efectos de desastres naturales, imprevisibles, cuya magnitud supere la capacidad financiera de respuesta de las dependencias y entidades paraestatales, así como de las entidades federativas.

## Política nacional

### El Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012

El Plan Nacional de Desarrollo, en su Eje No. 1.- Desarrollo Humano Sustentable, propone como visión transformadora de México en el futuro y al mismo tiempo como derecho de todos los mexicanos, asegurar la satisfacción de sus necesidades fundamentales como la educación,

la salud, la alimentación, vivienda, y protección a los derechos humanos.

En su Objetivo No. 3 busca lograr un patrón territorial que frene la expansión desordenada de las ciudades, provea de suelo apto para el desarrollo urbano y facilite el acceso a servicios y equipamiento en comunidades tanto urbanas como rurales.

En la Estrategia No. 3-1 (Promover el ordenamiento territorial), señala la certeza jurídica de la tenencia de la tierra en las zonas marginadas de las ciudades.

Sobre el particular, señala que se trabajará estrechamente con las autoridades estatales y municipales para acelerar la regularización de los predios y el uso del suelo.

En la Estrategia 3 (Prevenir y atender los riesgos naturales), pretende sensibilizar a las autoridades y a la población, de la existencia de riesgos y la necesidad de incorporar criterios para la prevención de desastres en los planes de desarrollo urbano y en el marco normativo de los municipios.

Tiene como fin el orientar a la prevención de desastres y la gestión del riesgo, una política de desarrollo sustentable y fortalecer las prácticas de cooperación entre la Federación, estados, municipios y sociedad civil, que permitan atender con mayor oportunidad a la población afectada por fenómenos naturales.

Lo anterior, implica diseñar e implementar nuevos programas estratégicos, dirigidos a mitigar la exposición de la población frente a amenazas de origen natural, fortalecer los instrumentos jurídicos para dotar de mayores atribuciones a las autoridades de los tres ordenes de gobierno a fin de evitar la concentración y proliferación de asentamientos humanos en zonas de riesgo, es decir mediante políticas públicas transversales que permitan en corto plazo reducir el riesgo de la población más vulnerable.

En la Estrategia 3.4 (Fortalecer el marco institucional en materia de desarrollo urbano), señala que si bien la planeación y gestión del desarrollo urbano es una atribución de los gobiernos estatales y municipales, requiere de un marco institucional federal, con elevada capacidad técnica y financiera para apoyar oportuna y eficazmente a los gobiernos locales.

Además, para el desarrollo de los centros de población los tres niveles de gobierno han construido infraestructura, la que al igual que los asentamientos humanos que

se encuentran cerca de los cauces, se localizan en zonas potencialmente inundables y en riesgo constante.

### **Programa Nacional Hídrico 2007-2012**

Alineado al PND 07/012, dentro de los objetivos rectores del sector hidráulico, el objetivo número seis: "Prevenir los riesgos derivados de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos y atender sus efectos", está a cargo de la Comisión Nacional del Agua como ente rector y participante en el Sistema Nacional de Protección Civil.

Los huracanes pueden provocar diversos daños a la población, infraestructura, a los servicios y sistemas de producción los cuales se agravan por la deforestación así como por la ubicación de asentamientos humanos en zonas susceptibles de inundación.

En materia de ordenamiento territorial, la delimitación de las áreas más vulnerables en términos de inundación o fallas de laderas es elemento indispensable, para evitar la instalación de asentamientos humanos en ellas y en lo posible reubicar los habitantes que ya existen en ellas.

### **Comisión Nacional del Agua, sus atribuciones y competencias en materia de inundaciones**

La CONAGUA, es la responsable de atender la política hidráulica del país, hecho que tiene su fundamento en los siguientes instrumentos jurídicos: Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; Artículo 32 Bis de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Reglamento al Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Reglamento al Interior de la Comisión Nacional del Agua, Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, Programa Nacional Hídrico 2007-2012.

Para atender las actividades que tiene encomendadas, la CONAGUA, cuenta con trece Organismos de Cuenca y 20 Direcciones Locales en los estados.

### **Estrategias para prevenir los riesgos**

El Programa Nacional Hídrico, contiene las siguientes estrategias para prevenir los riesgos derivados de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos y atender sus efectos:

1. Promover la reubicación de asentamientos humanos en zonas de riesgo.

2. Proporcionar al Sistema Nacional de Protección Civil y a la población, información oportuna y confiable sobre la ocurrencia y evolución de los eventos meteorológicos e hidrometeorológicos severos.
3. Transformar, renovar y modernizar el Servicio Meteorológico Nacional y ampliar su cobertura de monitoreo.
4. Coadyuvar en el restablecimiento de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la población en situación de emergencia.
5. Implantar acciones de restauración y preservación en las partes altas de las cuencas, a fin de reducir escurrimientos y posibles afectaciones.
6. Realizar las acciones preventivas que permitan enfrentar en mejor forma los fenómenos hidrometeorológicos.
7. Mantener, conservar y ampliar la infraestructura hidráulica para protección de centros de población y áreas productivas.
8. Promover programas de ordenamiento ecológico territorial en regiones que se encuentren en riesgo por eventos hidrometeorológicos.
9. Formular planes de prevención que permitan enfrentar en mejores condiciones los periodos de sequía y apoyar su implementación.
10. Fomentar en la población una cultura de prevención y atención de emergencia que incluya información sobre las causas y efectos del cambio climático.

### Aspectos legales del Programa de Control de Inundaciones y Ordenamiento del Territorio

En el marco del PND y del PNH es recomendable instrumentar un Programa de Control de Inundaciones asociado al ordenamiento del territorio.

Éste tiene el propósito de atender la problemática en su etapa preventiva, con el fin de reducir los daños por inundación, mismos que tienen un alto costo económico, social y político para la nación. En ese contexto los objetivos son:

- Proteger a la población y sus bienes patrimoniales susceptibles de ser afectados por inundaciones.
- Proteger la infraestructura hidráulica y los bienes económicos de beneficio público asociados (generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua potable, riego, acuacultura, entre otros).

Considerando los anteriores objetivos es claro que la atención y prevención de los daños ocasionados por los efectos de las inundaciones y el ordenamiento del territorio es competencia interinstitucional, con la participación de cada dependencia según sus atribuciones y competencias.

La Secretaría de Desarrollo Social, de conformidad a lo señalado en el Artículo 32, Fracción IX, tiene la atribución de:

“Proyectar la distribución de la población y la ordenación territorial de los centros de población, conjuntamente con las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal que corresponda, así como coordinar las acciones que el Ejecutivo Federal convenga con los Ejecutivos Estatales para la realización de acciones coincidentes en esta materia, con la participación de los sectores social y privado”

y conforme a lo indicado en la Fracción XI, le corresponde:

“Elaborar, apoyar y ejecutar programas para satisfacer las necesidades de suelo urbano y el establecimiento de provisiones y reservas territoriales para el adecuado desarrollo de los centros de población, en coordinación con las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal correspondientes y los gobiernos estatales y municipales, y con la participación de los diversos grupos sociales;”

Referente a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de conformidad con el Artículo 32 Bis, tiene asignado entre otras las atribuciones señaladas en las siguientes fracciones:

- I. Se indica “Fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales y bienes y servicios ambientales, con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable”
- XXI. Dirigir los estudios, trabajos y servicios meteorológicos, climatológicos, hidrológicos y geohidrológicos, así como el sistema meteorológico nacional, y participar en los convenios internacionales sobre la materia.
- XXVIII. Controlar los ríos y demás corrientes y ejecutar las obras de defensa contra inundaciones

La Comisión Nacional del Agua, es la autoridad del manejo de las aguas nacionales, lo anterior con fundamento en la Ley de Aguas Nacionales, la cual es reglamentaria del Artículo 27 Constitucional.

La Ley de Aguas Nacionales, en su Artículo 9, señala que “La Comisión” es un órgano administrativo desconcentrado de “la Secretaría”, que se regula conforme a las disposiciones de esta Ley y sus reglamentos, de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y de su Reglamento Interior.

“La Comisión” tiene por objeto ejercer las atribuciones que le corresponden a la autoridad en materia hídrica y constituirse como el Órgano Superior con carácter técnico, normativo y consultivo de la Federación, en materia de gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo la administración, regulación, control y protección del dominio público hídrico.

En el ejercicio de sus atribuciones, “la Comisión” se organiza en el Nivel Nacional y en el Nivel Regional Hidrológico-Administrativo, a través de sus Organismos de Cuenca.

Las atribuciones, funciones y actividades específicas en materia operativa, ejecutiva, administrativa y jurídica, relativas al ámbito Federal en materia de aguas nacionales y su gestión, se realizarán a través de los Organismos de Cuenca, con las salvedades asentadas en la citada Ley. Dentro de sus atribuciones en la Fracción XLIII se indica el “Realizar las declaratorias de clasificación de zonas de alto riesgo por inundación y elaborar los atlas de riesgos conducentes”.

Para apoyar la protección a los centros de población y áreas productivas, la Comisión Nacional del Agua, a través de los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales viene realizando delimitación y demarcación de zonas federales.

Derivado del crecimiento urbano, los habitantes de los predios vecinos a los ríos, arroyos, barrancas, lagos y lagunas, frecuentemente invaden la zona federal de los cuerpos de agua de propiedad nacional. Con lo anterior, se obstaculiza el acceso a los trabajos de limpieza y conservación de los mismos.

La Comisión Nacional del Agua, es la responsable de realizar los proyectos de delimitación y demarcación de zonas federales, con fundamento en la Ley de Aguas Nacionales, Artículo 3, Fracciones XX y XLVII, 114, 115, 116 y 117. Asimismo, ella administra los cauces de los ríos que son bienes inherentes a las aguas nacionales, por lo cual de acuerdo con el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos son Bienes nacionales. Esta delimitación sigue un

procedimiento técnico y la demarcación uno jurídico que se detallan en el anexo.

Actualmente, por diversas razones esta tarea se realiza en los casos de que un particular solicite la delimitación, (los costos de los estudios corren a cargo de los solicitantes), que existan conflictos entre vecinos al cauce, motivo por el cual los gobiernos estatales o municipales lo requieran, y únicamente se lleva a cabo en el tramo en conflicto.

En el reglamento al interior de la CONAGUA, esta tarea es asignada a la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos.

En el Programa Nacional Hídrico, para el periodo 2007-2012, se estableció como meta la realización de 265 proyectos de delimitación de zona federal.

En los casos que los asentamientos humanos invaden los cauces de los ríos y zonas federales, éstos deben ser considerados como irregulares, por lo que la Comisión en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, deben llevar a cabo las medidas necesarias para su desocupación. Este hecho no necesariamente se cumple dado el grado de desorden del crecimiento urbano y que en ocasiones el tema ha sido altamente politizado.

“La Comisión” fomentará el establecimiento de programas integrales de control de avenidas y prevención de daños por inundaciones, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativas que al efecto se requieran. Dentro de la programación hidráulica se fomentará el desarrollo de proyectos de infraestructura para usos múltiples, en los cuales se considere el control de avenidas y la protección contra inundaciones. (Art. 127, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales).

Conforme a lo anterior, “La Comisión” podrá prestar la asesoría y apoyo técnico que se le requieran para el diseño y construcción de las obras que controlen corrientes de propiedad nacional, así como las relativas a la delimitación de zonas federales. El comportamiento y operación de las obras que no diseñe o construya directamente “La Comisión” será responsabilidad de quien las realice.

“La Comisión” establecerá un sistema de pronóstico y alerta contra inundaciones y organizará la formulación de planes regionales de operación para aminorar los daños por inundación e implantar las medidas de emergencia conducentes. (Art. 128, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales).

“La Comisión”, en el ámbito de su competencia y en coordinación con las demás autoridades competentes y con las personas responsables, promoverá la integración y actualización de un inventario del estado de las obras hidráulicas públicas, privadas o sociales, con la finalidad de identificar medidas necesarias para la protección de la infraestructura hidráulica. Conforme a lo anterior, la ejecución de las medidas identificadas será responsabilidad de los titulares de las obras y en su caso de los administradores o concesionarios que tengan a su cargo su operación y conservación, sin perjuicio de la responsabilidad que corresponda a los primeros. (Art. 129, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales).

“La Comisión”, conforme a los lineamientos que acuerde su Consejo Técnico, promoverá el establecimiento y aplicación de fondos de contingencia, integrados con aportaciones de la Federación, de los gobiernos de las entidades federativas y de las personas interesadas, para lograr la disminución de daños y prever la solución de problemas. (Art. 130, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales).

Para efectos de los artículos 83 y 98 de la “Ley”, “La Comisión”, en el ámbito de su competencia, otorgará el permiso para la construcción de obras públicas de protección contra inundaciones o promoverá su construcción y operación, según sea el caso, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, o en concertación con las personas físicas o morales interesadas.

No quedan comprendidas en lo dispuesto en este artículo, las obras públicas de drenaje pluvial en los centros de población, las cuales están a cargo y bajo la responsabilidad de las autoridades locales. (Art. 131, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales).

“La Comisión” promoverá y, en su caso, realizará los estudios necesarios que permitan clasificar las zonas inundables asociadas a eventos con diferente probabilidad de ocurrencia, en atención a los riesgos que presentan a corto y largo plazos. Asimismo promoverá, dentro de la programación hidráulica, el establecimiento de las zonas restringidas y de normas para el uso de dichas zonas, que establezcan las características de las construcciones con objeto de evitar pérdidas de vidas y daños. (Art. 132, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales).

Para cumplir con lo señalado en la Ley de Aguas Nacionales, Artículo 83, así como en el Plan Nacional Hídrico,

Objetivo No. 6, estrategia 1. “La Comisión”, con el apoyo de los Organismos de Cuenca, clasificará las zonas en atención a sus riesgos de posible inundación, emitirá las normas y, recomendaciones necesarias.

Referente a la clasificación de zonas con riesgo, actualmente varios Organismos de Cuenca y Direcciones Locales, realizan esta actividad cuando los gobiernos estatales o municipales, solicitan dicha clasificación para predios en los que se pretende realizar obras, se realizan los trabajos topográficos, hidráulicos e hidrológicos, y se entregan los resultados incluyendo recomendaciones.

Resulta importante aclarar que la clasificación de zonas de riesgo (puntual) que se lleva a cabo por solicitud, es complementaria al compendio en que cada Organismo de Cuenca identifique los asentamientos humanos ubicados en zonas de riesgo en cuencas federales delimitadas.

En el Programa Nacional Hídrico, para el periodo 2007-2012, se estableció como meta la realización de 13 compendios de identificación de asentamientos humanos ubicados en zonas de riesgo en cuencas federales.

La identificación del compendio de las zonas de riesgo es información básica para el desarrollo de los programas de atención de emergencia en casos de inundaciones.

Para cumplir con lo indicado en el Plan Nacional de Desarrollo, es necesario que los resultados además sean entregados en las áreas responsables de llevar a cabo los programas de desarrollo urbano.

Otro elemento relevante es en cuanto a la limpieza de cauces de ríos, arroyos y barrancas, no debe permitirse el desarrollo urbano, en laderas que con fuerte pendiente, ya que al instalarse los asentamientos humanos en estas zonas se propicia la deforestación, así como la inestabilidad de taludes, además el suministro de servicios municipales se dificulta, y por ello frecuentemente las barrancas y cauces de los ríos son utilizados como tiraderos de basura, lo que constituyen focos de contaminación, además al presentarse los escurrimientos, se arrastra la basura aguas abajo.

En la Ley de Aguas Nacionales, Artículo 9, Fracción XLIII, se indica que son atribuciones de “la Comisión” en su nivel nacional, el realizar las declaratorias de clasificación de zonas de alto riesgo por inundación y elaborar los atlas de riesgos conducentes (ver anexo).

Asimismo, en el Reglamento Interior de la Comisión Nacional del Agua, en su Artículo 13, se señala que



corresponden al director general la “Clasificación de zonas de alto riesgo por inundación y expedir los Atlas de riesgos conducentes”.

Sobre el particular, podemos señalar que esta atribución va íntimamente ligada con la elaboración del compendio que cada Organismo de Cuenca tiene que integrar mediante la identificación de los asentamientos humanos ubicados en zonas de riesgo por inundación. El cual deberá ser considerado para la formulación del atlas.

De acuerdo a lo mencionado en el Artículo 42, Fracción V del Reglamento Interior, es competencia de la Gerencia de Infraestructura Hidráulica Pluvial de la Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, el clasificar las zonas de riesgo en zonas urbanas y formular el atlas correspondiente a nivel nacional, coordinadamente con los organismos, las entidades federativas y municipios.

Por su parte, a la Subdirección General Técnica, conforme a lo establecido en el Artículo 52, Fracción V del Reglamento Interior, le compete el establecer las bases técnicas para la expedición de Declaratorias de clasificación de alto riesgo por inundaciones y elaboración de los atlas de riesgos por inundaciones a nivel nacional.

En cuanto a los Organismos de Cuenca, conforme a lo indicado en el Artículo 82, Fracción XXII, del Reglamento Interior, a través de la Dirección Técnica, tiene encomendado el formular proyectos de declaratorias de clasificación de zonas de alto riesgo por inundación y de atlas de riesgos por inundación o por afectación de la calidad de las aguas nacionales, en lo concerniente a sus aspectos técnicos.

Sobre el particular, a la fecha no se cuenta con el atlas de riesgo por inundación, a pesar de los esfuerzos pasados para integrar un registro completo de los sitios inundables, entre otras causas por el escaso acervo documental, aunado a la falta de recursos humanos y financieros destinados para tal efecto.

De conformidad con lo señalado en el Artículo 83 de la Ley de Aguas Nacionales, la CONAGUA, a través de los Organismos de Cuenca, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales o en concertación con personas físicas o morales, deberá construir y operar, según sea el caso, las obras para el control de avenidas y protección de zonas inundables, para la protección a centros de población y áreas productivas.

En relación a la infraestructura hidráulica urbana, la Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, conforme a lo señalado en el Artículo 36, Fracción II, tiene asignadas las siguientes competencias: elaborar “estudios y proyectos ejecutivos y su seguimiento, construcción, operación, administración, conservación, rehabilitación, modernización y custodia de obras de infraestructura hidráulica en sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, rurales y urbanos” así como realizar “estudios, proyectos ejecutivos, construcción, administración, operación, seguimiento, conservación y mejoramiento de sistemas de control de avenidas, control de ríos y protección contra inundaciones en centros de población”, además de la construcción de infraestructura de drenaje pluvial en centros urbanos.

Sobre el particular, los proyectos ejecutivos de obras de protección a centros de población, los viene realizando la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola.

Referente a la infraestructura hidroagrícola, en el Artículo 30 Fracción II del Reglamento Interior, se cita que a la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola le competen las siguientes atribuciones: “Formulación de estudios de factibilidad, proyectos ejecutivos y construcción de obras, tanto hidráulicas federales y sus complementarias, como de obras para la generación de energía eléctrica, en este caso, con la participación de las dependencias o entidades federales competentes” así como elaborar los “estudios, proyectos ejecutivos, construcción, administración, operación, vigilancia, conservación y mejoramiento de sistemas de control de avenidas y protección contra inundaciones de áreas productivas”.

Con el fin de garantizar el funcionamiento adecuado de la infraestructura, es necesario que la Comisión a través de los Organismos de Cuenca, programe y presupueste los recursos necesarios para la conservación y mantenimiento adecuado.

Cabe destacar que los seguros no aplican en casos de falla de la infraestructura derivada de la falta de mantenimiento.

Los bordos de protección, deben conservarse y mantenerse adecuadamente, ya que es frecuente observar que llegan a fallar debido a falta de conservación o porque en su zona de protección se permite la construcción de infraestructura diversa, o que para facilitar el tránsito de un

lado al otro del bordo, se permite la formación de rampas y escalones, mismos que se constituyen en sitios potenciales de falla.

Como ejemplo de bordos que requieren un estricto seguimiento, así como conservación, se tienen los del río de La Compañía, en el Estado de México.

La Subdirección General de Atención de Emergencias y Consejos de Cuenca, de conformidad con lo indicado en el Reglamento Interior, Artículo 62 Fracción III, tiene encomendado el “detectar y determinar daños en la infraestructura hidráulica con la participación del organismo correspondiente, e informar de los mismos a la unidad administrativa del nivel nacional competente”.

Referente a las presas de almacenamiento, el Artículo 55 del Reglamento Interior señala que la Gerencia del Consultivo Técnico lleva a cabo el programa de visitas de inspección, con el fin de verificar el funcionamiento adecuado de las presas y sus diferentes estructuras. Sobre el particular, en algunas ocasiones se observa que los usuarios con el fin de incrementar la capacidad de almacenamiento instalan sistemas de agujas (empleando tablonas de madera) e inclusive llegan a obturar los vertedores, con esto ponen en grave riesgo la seguridad de la presa. Estas situaciones deben ser reportadas de inmediato a las autoridades estatales y municipales de protección civil, además de realizar las acciones procedentes (Dirección Local, Organismo de Cuenca y Coordinación de Atención de Emergencias y Consejos de Cuenca).

Finalmente, para el adecuado mantenimiento y conservación de la infraestructura, además de la programación y presupuesto, resulta indispensable la asignación de recursos financieros. De lo contrario, de ocurrir una falla por falta de conservación, existe el riesgo potencial de un desastre que indudablemente para su atención requerirá de un presupuesto mayor e inclusive se corre el riesgo de que la infraestructura dañada tenga que ponerse fuera de servicio.

### **Ordenamiento territorial y coordinación interinstitucional**

Las acciones de ordenamiento territorial se dispersan debido a la poca uniformidad y falta de coordinación entre los diferentes instrumentos legislativos, en el ámbito federal, estatal y municipal, además de la que existe entre las dependencias de estos niveles gubernamentales, los sistemas de protección y el mismo sector social.

### **Fundamento legal**

De acuerdo a las definiciones dadas en la Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH), el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos es el proceso de distribución equilibrada y sustentable de la población y de las actividades económicas en un territorio nacional. Asimismo los centros de población, son las áreas constituidas por las zonas urbanizadas, las que se reserven para su expansión y las que se consideren no urbanizables por causas de preservación ecológica, prevención de riesgos y mantenimiento de actividades productivas, dentro de los límites de dichos centros, así como las que por resolución de la autoridad competente se provean para la fundación de los mismos.

Las áreas no urbanizables serán las que se excluyen del desarrollo urbano por ser tierras de alto o mediano rendimiento agrícola, pecuario o forestal; bosques, demás recursos naturales en explotación, o susceptibles de serlo; zonas arqueológicas y demás bienes del patrimonio históricos, artístico y cultural; los terrenos inundables; los que tengan riesgos previsibles de desastre o pendientes pronunciadas; los que acusen fallas o fracturas en su estratificación geológica; los que contengan galerías y túneles provenientes de laboreos mineros agotados o abandonados y todas aquellas áreas que como no urbanizables sean definidas en los planes, en atención a políticas y estrategias de desarrollo urbano.

De esta manera se maneja zonas que no se deben urbanizar debido a los riesgos que presentan para las personas que puedan asentarse en estas zonas.

Sin embargo, innumerables asentamientos humanos que por su gran crecimiento humano y económico han extendido sus manchas urbanas a zonas que potencialmente deberían ser no urbanizables, presentándose grandes riesgos de afectación, como en el caso de asentarse en zonas federales, de cauces de ríos o de vasos de almacenamiento.

Por otro lado dado que el ordenamiento territorial y la administración de riesgos por inundaciones se incluye en varias leyes (e instituciones) y reglamentos de los tres niveles de gobierno, se hace difícil su aplicación coordinada.

### **Ámbito de competencia**

De acuerdo a la LGAH, las atribuciones que en materia de ordenamiento territorial de los asentamientos humanos

y de desarrollo urbano de los centros de población tiene el estado, serán ejercidas de manera concurrente por la Federación, las entidades federativas y los municipios, en el ámbito de la competencia que les determina la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Artículo 6).

Corresponden a la Federación, a través de la Secretaría de Desarrollo Social, elaborar, apoyar y ejecutar programas para el establecimiento de provisiones y reservas territoriales para el adecuado desarrollo de los centros de población, en coordinación con las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal correspondientes y los gobiernos estatales y municipales, y con la participación de los sectores social y privado (Artículo 7. Fracc. IV LGAH).

Así mismo, corresponden a las entidades federativas, formular, aprobar y administrar el Programa Estatal de Desarrollo Urbano, así como evaluar y vigilar su cumplimiento (Artículo 8, LGAH).

A los municipios corresponderá formular, aprobar y administrar la zonificación de los centros de población ubicados en su territorio. La zonificación deberá establecerse en los planes o programas de desarrollo urbano respectivos, en las que se determinarán entre otras, las zonas de desarrollo controlado y de salvaguarda, especialmente en áreas e instalaciones en las que se realizan actividades riesgosas y se manejan materiales y residuos peligrosos (Artículo 35, LGAH).

Los Programas de Desarrollo Urbano y Asentamientos Humanos son elaborados por las entidades federativas de acuerdo con los lineamientos dados por la LGAH y son publicados en el Diario Oficial de la Federación.

Conforme la coordinación citada, la CONAGUA, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, o en concertación con personas físicas o morales, podrá construir y operar, según sea el caso, las obras para el control de zonas inundables, así como caminos y obras complementarias que hagan posible el mejor aprovechamiento de las tierras y la protección a centros de población, industriales y, en general, a las vidas de las personas y de sus bienes, conforme a las disposiciones del Título Octavo. "La Comisión", en los términos del reglamento, clasificará las zonas en atención a sus riesgos de posible inundación, emitirá las normas y recomendaciones necesarias, establecerá las medidas de operación, control y seguimiento y aplicará los fondos

de contingencia que se integren al efecto (Artículo 83, Ley de Aguas Nacionales).

Así mismo, la Comisión determinará la operación de la infraestructura hidráulica para el control de avenidas y tomará las medidas necesarias para dar seguimiento a fenómenos climatológicos extremos, promoviendo o realizando las acciones preventivas que se requieran; asimismo, realizará las acciones necesarias que al efecto acuerde su Consejo Técnico para atender las zonas de emergencia hidráulica o afectadas por fenómenos climatológicos extremos, en coordinación con las autoridades competentes.

Para el cumplimiento eficaz y oportuno de lo dispuesto en este Artículo, la Comisión actuará en lo conducente a través de los Organismos de Cuenca (Artículo 83, Ley de Aguas Nacionales).

### Vinculación con la política nacional

La vinculación del Plan Nacional de Desarrollo con el Programa Nacional Hídrico viene dado principalmente del:

- Objetivo 3. Lograr un patrón territorial nacional que frene la expansión desordenada de las ciudades, provea suelo apto para el desarrollo urbano y facilite el acceso a servicios y equipamientos en comunidades tanto urbanas como rurales.
- 3.2. Impulsar el ordenamiento territorial nacional y el desarrollo regional a través de acciones coordinadas entre los tres órdenes de gobierno y concertadas con la sociedad civil.

### Prevenir y atender los riesgos naturales

Con las principales estrategias del Programa Nacional Hídrico 2007-2012 que se vinculan con la estrategia anterior:

- 3.10. Posicionar al agua y al ordenamiento territorial como elementos clave en el desarrollo del país.
- 6.1. Promover la reubicación de asentamientos humanos ubicados en zonas de riesgo.
- 6.8. Promover programas de ordenamiento ecológico territorial en regiones que se encuentren en riesgo por eventos hidrometeorológicos.
- 6.10. Fomentar en la población una cultura de prevención y atención de emergencias que incluyan información sobre causas y efectos del cambio climático.

## Análisis de leyes estatales de Desarrollo Urbano y de Asentamientos Urbanos

Se analizaron las 32 leyes estatales de Desarrollo Urbano y de Asentamientos Humanos, destacando los siguientes aspectos:

- a) La Ley vigente más antigua corresponde a los Estados de Campeche y Jalisco, mientras que las más recientes corresponden a los Estados de Coahuila y Colima. Incluso se encuentra en discusión la ley del Estado de Nayarit.
- b) Otro dato interesante es que en las leyes de los Estados de Sonora, Quintana Roo y Oaxaca no tienen ninguna mención al tema de riesgos ni de zonas de riesgo.

A continuación se presentan los aspectos comunes del resto de las leyes:

1. A los municipios les corresponde establecer, en coordinación con el estado, los mecanismos que permitan prevenir desastres urbanos, a través de la regulación del uso del suelo en los centros de población y evitar el establecimiento de asentamientos humanos en zonas de alto riesgo, en derechos de vía, en zonas de salvaguarda y de desarrollo controlado contiguas a industrias que realicen actividades altamente riesgosas.
2. Los programas municipales de Desarrollo Urbano deberán ser congruentes con el Plan Estatal de Desarrollo Urbano y con el Programa Municipal de Desarrollo respectivo, y deberán contener por lo menos la propuesta de las áreas de crecimiento de los centros de población, y la propuesta de zonas intermedias de salvaguarda, en las áreas en las que realicen actividades altamente riesgosas, en las que no se permitirán los usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población.
3. A los municipios les corresponde formular, aprobar y administrar la zonificación de los centros de población ubicados en su territorio.
4. La zonificación debe establecerse en los planes o programas de desarrollo urbano respectivos, en la que se determinarán:
  - I. Las áreas que integran y delimitan los centros de población;
  - II. Los aprovechamientos predominantes en las distintas zonas de los centros de población;
  - III. Los usos y destinos permitidos, prohibidos o condicionados;
  - IV. Las disposiciones aplicables a los usos y destinos condicionados;
  - V. La compatibilidad entre los usos y destinos permitidos;
  - VI. Las densidades de población y de construcción;
  - VII. Las medidas para la protección de los derechos de vía y zonas de restricción de inmuebles de propiedad pública;
  - VIII. Las zonas de desarrollo controlado y de salvaguarda, especialmente en áreas e instalaciones en las que se realizan actividades riesgosas y se manejan materiales y residuos peligrosos;
  - IX. Las zonas de conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población;
  - X. Las reservas para la expansión de los centros de población.
5. Para los efectos de ordenar y regular los asentamientos humanos en el territorio estatal y en los centros de población, los planes de desarrollo urbano zonificarán el suelo en:
  - I. Áreas de aplicación de políticas de ordenamiento y regulación del territorio;
  - II. Áreas urbanas, urbanizables y no urbanizables; y
  - III. Áreas de provisiones, reservas, usos y destinos.
6. Las áreas no urbanizables serán las que se excluyen del desarrollo urbano por ser tierras de alto o medio rendimiento agrícola, pecuario o forestal; bosques demás recursos naturales en explotación o susceptibles de serlo; zonas arqueológicas y demás bienes del patrimonio históricos, artístico y cultural; los terrenos inundables; los que tengan riesgos previsible de desastre pendientes pronunciadas; los que acusen fallas o fracturas en su estratificación geológica; los que contengan galerías y túneles provenientes de labores mineros agotados o abandonados y todas aquellas áreas que como no urbanizables sean definidas en los planes, en atención a políticas y estrategias de desarrollo urbano.
7. Se consideran zonas destinadas a la conservación:
  - I. Las que por sus características naturales cuenten con bosques, praderas, mantos acuíferos y otros elementos que condicionen el equilibrio ecológico de su entorno;

- II. Las dedicadas en forma habitual a las actividades agropecuarias;
  - III. Las áreas abiertas, los promontorios, los cerros, las colinas y elevaciones o depresiones orográficas que constituyen elementos naturales del territorio del estado;
  - IV. Las áreas cuyo uso puede afectar al paisaje urbano; y
  - V. Las áreas cuyo subsuelo presente riesgos geológicos, sean inestables o se localicen en partes bajas con problemas de drenaje y riesgos de inundación;
  - Las acciones de conservación y mejoramiento de los centros de población, previstas en los Planes de Desarrollo Urbano, establecerán disposiciones para la protección ecológica y la prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanas;
8. Los Planes de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial de los Centros de Población tienen por objeto ordenar y regular el proceso de desarrollo urbano de los centros de población; establecer las bases para las acciones de mejoramiento, conservación y crecimiento de éstos y definir los usos y destinos del suelo, así como las áreas destinadas a su crecimiento, con la finalidad de lograr el desarrollo sustentable y mejorar el nivel de vida de la población. Dichos planes, deberán ser congruentes con el Programa Municipal de Desarrollo Urbano correspondiente y contener, por lo menos lo siguiente:
- Evitar los asentamientos humanos en las áreas de mayor vulnerabilidad, en las áreas riesgosas y en las áreas de conservación e incluir criterios de protección civil destacando la constante prevención-mitigación y la variable riesgo-vulnerabilidad.
  - El ordenamiento del territorio, en donde se incluirá la clasificación del suelo, así como los polígonos que delimitan el suelo urbano y el de conservación, las características que identifican las diversas áreas y las normas de ordenación, la estructura propuesta del suelo urbano y de conservación, y las zonas de alto riesgo geológico, hidrometeorológico, físico-químico, sanitario y socio-urbano.
  - La distribución general de la población y de las actividades económicas en el territorio estatal, en base a sus potencialidades, y riesgos y lo relativo a las conurbaciones.
  - Las acciones necesarias para mantener el equilibrio ecológico, el mejoramiento del medio ambiente y la reducción de la contaminación del agua, del suelo y de la atmósfera.
  - La prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanas en los centros de población.
  - La incorporación de medidas correctivas y restrictivas en el control del uso del suelo, para mitigar la presencia de riesgos urbanos en los centros de población.
  - La regulación ambiental de los asentamientos humanos y el establecimiento de medidas y acciones que mitiguen los riesgos urbanos de los centros de población.
  - La propuesta de medidas y acciones que mitiguen los riesgos urbanos; así como las zonas intermedias de salvaguarda, en las áreas en las que se realicen actividades altamente riesgosas, en las que no se permitirán los usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población.
  - La atención de emergencias y contingencias urbanas, la prevención de desastres urbanos, la protección al ambiente, la preservación del equilibrio ecológico y la reducción de la contaminación del agua, suelo y atmósfera de acuerdo a la legislación aplicable.
  - El diagnóstico y las proyecciones a futuro del análisis de riesgos urbanos en los centros de población.
  - La definición de objetivos, políticas y estrategias generales para orientar el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y el desarrollo urbano sustentable de los centros de población.
  - La regularización de la tenencia de la tierra, no se podrá llevar a cabo en zonas que se determinen de riesgo, no aptas o sobre derechos de vía.
  - Las previsiones y proyecciones futuras sobre el crecimiento y distribución de la población, la distribución territorial de las actividades económicas, desarrollo de las comunicaciones y transporte, las condiciones ambientales y de riesgo en la entidad, el sistema jerarquizado de los centros de población, los problemas de tenencia de la tierra y su regularización para su integración al

- desarrollo urbano, proyectos de inversión y estrategias financieras.
- La prohibición de establecer asentamientos humanos irregulares, fraccionamientos y condominios al margen de la Ley.
  - La prohibición del impulso y desarrollo urbano y rural de los asentamientos humanos en zonas vulnerables a las inundaciones, montañas con suelos accidentados, cuerpos de agua, lagunares, vías de comunicación, ducterías en general, redes de electrificación y en general de riesgo de fenómenos naturales o químicos.
9. Los programas que conformen el Sistema Estatal tendrán por objeto fomentar el desarrollo sustentable y determinar la expansión de los asentamientos humanos, en función de las características naturales del territorio, tales como su topografía, edafología, hidrología, clima, riesgo o vulnerabilidad para establecer su uso de suelo, y sus compatibilidades urbanísticas.
  10. Los programas deberán adecuarse a los requerimientos que se presenten en una emergencia o contingencia urbana, de conformidad con las medidas de seguridad que en materia de protección civil determinen las disposiciones aplicables, asimismo, se identificarán los lugares no aptos para el desarrollo urbano que por su naturaleza representen riesgo para los asentamientos humanos.
  11. Tomando en consideración que los propósitos del ordenamiento territorial y el desarrollo urbano para el mejoramiento del nivel y calidad de vida de la población, se lograra mediante la participación de los sectores social y privado, en la solución de los problemas que generan la convivencia en los asentamientos humanos, estos sectores tendrán participación deliberante en la prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales en los centros de población y comunidades rurales.
  12. Los gobiernos estatal y municipales, en el ámbito de sus respectivas competencias, promoverán la participación social de manera directa, o a través de los consejos estatal y municipales de Desarrollo Urbano y demás órganos auxiliares que intervienen en el desarrollo urbano, así como agrupaciones comunitarias que se constituyan o no bajo cualquier forma jurídica de organización, con la finalidad de que el ordenamiento territorial y desarrollo urbano, se traduzcan en el mejoramiento de la calidad de vida de la población.
  13. Se deberá llevar a cabo campañas de concientización con la población asentada en zonas de salvaguarda y alto riesgo, así como en las zonas de derecho de vía para que accedan a desocuparlas y promover y apoyar las acciones de control de uso del suelo, en la reubicación de población asentada en zonas de riesgo, colaborar en la permanencia de los usos de suelo en las ciudades, así como evitar la reocupación de zonas de derecho de vía.
  14. Son obligaciones de las autoridades estatales y municipales responsables en la aplicación de los programas:
    - I. Elaborar un inventario de las áreas urbanas y rurales del estado ubicadas en zonas vulnerables para los asentamientos humanos;
    - II. Incorporar al sistema de información geográfica del Programa Estatal de Ordenamiento Territorial información de redes y ductos de gas, instalación de complejos industriales, venta de combustibles, electrificación y zonas inundables que sirvan como referencia para la toma de decisiones para el Desarrollo Urbano e Industrial;
    - V. Incluir un apartado especial a la problemática de riesgo en el desarrollo de los asentamientos humanos dentro del Programas Estatal de Ordenamiento Territorial y de los programas estatal y municipales de Desarrollo urbano;
    - VI. Monitorear los resultados del sistema automatizado para el alertamiento de inundaciones a autoridades y pobladores que puedan ser afectados, de manera conjunta con autoridades estatales y municipales de protección civil; y
    - VII. Promover la reducción de vulnerabilidad física, a través de programas específicos que contribuyan a evitar asentamientos humanos en zonas vulnerables.
  15. Se consideran causas de utilidad pública:
    - I. La creación de zona de salvaguarda, amortiguamiento y de desarrollo controlado, en áreas contiguas a industrias y en todas aquellas que realicen actividades altamente riesgosas, para prevenir desastres urbanos; y



- II. La reubicación en áreas o predios aptos para el Desarrollo Urbano, de la población asentada en zonas de alto riesgo, derechos de vía y zonas de restricción;
  - III. La seguridad de la población asentada en zonas de alto riesgo;
  - IV. Las acciones de identificación y prevención de riesgos en los centros de población.
16. En ningún caso se deberá dar curso a solicitudes de proyectos que se ubiquen en áreas naturales protegidas, zonas arboladas y de valores naturales, zonas y monumentos del patrimonio cultural, ni cuando se afecten las medidas de los lotes tipo autorizados en la zona, el equilibrio de la densidad de población y de los coeficientes de construcción, así como la zonificación primaria y secundaria establecidas por los programas de desarrollo urbano.
17. Se debe prohibir el establecimiento de fraccionamientos en lugares no aptos para el desarrollo urbano, o en zonas insalubres, inundables o con pendientes mayores del quince por ciento a menos que se realicen las obras necesarias de saneamiento o protección, de regulación de la tenencia de la tierra, previa autorización y supervisión del Ayuntamiento o Concejo municipal correspondiente.
18. La regularización de un asentamiento humano no será procedente cuando:
- I. Se contravenga a lo que establezca el programa de desarrollo urbano correspondiente;
  - II. Se invadan derechos de vía de instalaciones, líneas o ductos superficiales o subterráneos; áreas naturales protegidas; zonas de riesgo o amortiguamiento de instalaciones o actividades específicas, o los derechos generados por cuerpos de agua;
19. Las licencias, permisos, autorizaciones, dictámenes, concesiones y constancias deberán tomar en cuenta, según sea el caso, la adecuación de cada proyecto a la topografía y a las características del suelo, a fin de impedir la ejecución de obras o proyectos en zonas no aptas para el desarrollo urbano o alto riesgo;
20. Los planes de desarrollo urbano para la ejecución de acciones de mejoramiento en los centros de población, atenderán a lo siguiente la prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanas, acordes a los programas de protección civil conforme a las disposiciones aplicables;
21. El Consejo Estatal de Protección Civil, además de las atribuciones que le asigna la Ley de Protección Civil para el estado, tendrá las siguientes:
- I. Elaborar y difundir, a través de la Unidad Estatal, los programas y medidas para la prevención de desastres en zonas de salvaguarda, de derecho de vía y alto riesgo;
  - II. Coadyuvar en la elaboración de planes y programas estatales, regionales y municipales vinculados con los objetivos del Sistema Nacional de Protección Civil;
  - III. Supervisar la elaboración y edición del Atlas Estatal de Riesgos;
  - IV. Asegurar el mantenimiento o pronto restablecimiento de los servicios públicos fundamentales en los lugares donde ocurra un desastre;
  - V. Ordenar y supervisar la integración y coordinación de los equipos de respuesta frente a riesgos y catástrofes; y
  - VI. Propiciar la implantación de programas especiales de respuesta ante la eventualidad de un desastre en zonas de alto riesgo.
22. Se deberá conceder acción pública para la adopción de medidas de seguridad que prevengan o pongan fin a los riesgos y daños, en materia de regulación del uso del suelo, para denunciar ante las autoridades competentes cualquier infracción a las disposiciones de la legislación de desarrollo urbano, de igual manera para obtener de la autoridad, la adopción de medidas de seguridad que prevengan o pongan fin a los riesgos y daños, a personas o bienes que puedan ocasionar desarrollos urbanos, obras y construcciones, así como la seguridad del suelo y su contaminación; todo ello en conformidad a las disposiciones de ésta Ley.

La denuncia popular deberá extenderse a todo hecho, acto u omisión que produzca desequilibrio urbano o daños al ambiente. Cuando estos fueren de competencia federal, la denuncia podrá ser presentada ante la autoridad municipal para ser remitida a las dependencias federales correspondientes

## Prevención de asentamientos humanos en zonas vulnerables

Destaca la consideración en la Ley de Ordenamiento Territorial Sustentable del Estado de Tabasco se señala la prevención de asentamientos humanos en zonas vulnerables, que debería ser considerado de la siguiente manera:

- Son obligaciones de las autoridades estatales y municipales responsables en la aplicación de la presente Ley:
  - I. Elaborar un inventario de las áreas urbanas y rurales del estado ubicadas en zonas vulnerables para los asentamientos humanos;
  - II. Incorporar al sistema de información geográfica del Programa Estatal de Ordenamiento Territorial información de redes y ductos de gas, instalación de complejos industriales, venta de combustibles, electrificación y zonas inundables que sirvan como referencia para la toma de decisiones para el desarrollo urbano e industrial;
  - III. Impulsar la investigación para la generación de reservas óptimas para asentamientos humanos sustentables fuera de zonas vulnerables;
  - IV. Considerar aspectos técnicos de protección civil en los diseños arquitectónicos y estructurales, en edificios o inmuebles para uso de equipamiento y vivienda;
  - V. Incluir un apartado especial a la problemática de riesgo en el desarrollo de los asentamientos humanos dentro del programa estatal de Ordenamiento Territorial y de los programas estatal y municipales de Desarrollo Urbano;
  - VI. Monitorear los resultados del sistema automatizado para el alertamiento de inundaciones a autoridades y pobladores que puedan ser afectados, de manera conjunta con autoridades estatales y municipales de protección civil; y
  - VII. Promover la reducción de vulnerabilidad física, a través de programas específicos que contribuyan a evitar asentamientos humanos en zonas vulnerables (Artículo 183).

## Fuentes de recursos para reponer o reparar la infraestructura hidráulica e hidroagrícola nacional

### Seguros de la infraestructura hidráulica e hidroagrícola nacional

La Ley General de Bienes Nacionales, en su Artículo 3, clasifica como bienes nacionales los que son propiedad de la Federación, propiedad de las entidades y los de propiedad de instituciones de carácter federal. En consecuencia la infraestructura a cargo de la Comisión Nacional del Agua se considera como bienes nacionales.

Para dar cumplimiento a lo señalado en la Ley General de Bienes Nacionales, Artículo 32, en donde se señala que debe existir un responsable inmobiliario, en nuestro caso la Gerencia de Recursos Materiales de la Comisión nacional del Agua, a través de la Subgerencia de Análisis de Riesgo, debe adoptar las medidas conducentes para la adecuada conservación, mantenimiento, vigilancia y, en su caso, aseguramiento contra daños de los inmuebles.

Para el aseguramiento de la infraestructura, es necesario que las diferentes áreas responsables de la misma (hidroagrícola, agua potable y saneamiento, presas de almacenamiento, entre otras) mantengan actualizado el inventario de obras, incluyendo su soporte documental (planos, bitácoras de mantenimiento, reportes fotográficos, etcétera) y lo entreguen a la Gerencia de Recursos Materiales.

Además, en el caso de que ocurra un siniestro los Organismos de Cuenca o Direcciones Locales deberán reportarlo a la Gerencia de Recursos Materiales.

En el caso de la infraestructura antes referida, el aseguramiento de la misma se ha realizado mediante la celebración de contratos de “seguro”, previo proceso de licitación pública nacional, destacándose el hecho de que en la póliza de infraestructura hidráulica e hidroagrícola vigente se señala que:

“Los bienes cubiertos, son todas las propiedades muebles e inmuebles de cualquier tipo pertenecientes a la infraestructura hidráulica e hidroagrícola de la Comisión Nacional del Agua, en el estado físico en que se encuentren, o de las que considere que son propiedades del dominio público, de conformidad con la Ley de Aguas Nacionales o de terceros que están bajo custodia, control, los bienes que deban estar bajo el nivel del agua dentro del territorio de la República Mexicana; bienes que deban estar bajo

el nivel del piso más bajo siendo éstos sótanos, cimentaciones de presas, y demás bienes que en ellos se encuentre, necesarios a la operación del sistema de infraestructura hidráulica e hidroagrícola, ya sea propiedad del asegurado o de terceros, mientras se encuentren bajo su custodia, arrendamiento, consignación, cuidado, control o responsabilidad, ya sea por ley adquirida por contrato previo o sobre los cuales tenga interés asegurable.

Los bienes muebles e inmuebles se citan de manera enunciativa y no limitativa, y son: computadoras, cristales, equipo electrónico, motores, mobiliario, equipo en general, presas, cortinas, distritos de temporal tecnificado, distritos de riego, obras de toma, diques, canales, túneles, puentes, alcantarillas, sifones, casetas de control, caminos u otras inherentes a las presas, bordos, canales, drenes, casetas de bombeo, sistemas hidráulicos, acueductos, ductos, tubería, torres de oscilación, tanques de almacenamiento, de descarga, y v asos reguladores, plantas de tratamiento y potabilizadoras, así como la maquinaria y equipos de bombeo y otros utilizados en la operación de los sistemas, lanchas y accesorios.

Los riesgos cubiertos El seguro cubre bienes contra todo riesgo entendiéndose como cualquier pérdida o daño material directamente causado a la infraestructura hidráulica e hidroagrícola, y cualquiera que pudieran generar los empleados del asegurado, que esté específicamente excluido por la cláusula correspondiente.

El seguro no ampara: el costo de mejorar o adicionar el diseño original del bien asegurado, excepto los gastos extras o extraordinarios en que incurra el asegurado para continuar con sus operaciones normales; desgaste normal, erosión, fermentación, deterioro gradual, merma, incrustaciones, oxidación, contaminación, vicio propia, podredumbre seca o húmeda, smog o temperatura extrema a menos que sean consecuencia de un riesgo amparado.”

## Fondo de Desastres Naturales (Fonden)

La Secretaría de Gobernación, con fundamento en el Artículo 27, Fracción XXIV de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, le corresponde el:

“conducir y poner en ejecución, en coordinación con las autoridades de los gobiernos de los estados, del Distrito Federal, con los gobiernos municipales, y con las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, las políticas y programas de protección civil del Ejecutivo, en el marco del Sistema Nacional de Protección Civil, para la prevención, auxilio, recuperación y apoyo a la población en situaciones de desastre y concertar con instituciones y organismos de los sectores privado y social, las acciones conducentes al mismo objetivo”.

El Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) es un instrumento financiero mediante el cual dentro del Sistema Nacional de Protección Civil, a través de las Reglas de Operación del propio Fondo y de los procedimientos derivados de las mismas, integra un proceso respetuoso de las competencias, responsabilidades y necesidades de los diversos órdenes de gobierno, que tiene como finalidad, bajo los principios de corresponsabilidad, complementariedad, oportunidad y transparencia, apoyar a las entidades federativas de la República Mexicana, así como a las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, en la atención y recuperación de los efectos que produzca un fenómeno natural, de conformidad con los parámetros y condiciones previstos en sus reglas de operación.

El FONDEN es, por lo tanto, un complemento de las acciones que deben llevarse a cabo para la prevención de desastres naturales. Es por ello que, de forma independiente a la existencia y operación del FONDEN, resulta indispensable que las autoridades federales fortalezcan las medidas de seguridad y de prevención necesarias que ayuden a afrontar de mejor manera los efectos que ocasiona un desastre natural, incluyendo las acciones que permitan dar aviso oportuno y masivo a la población.

Su objetivo es atender los efectos de Desastres Naturales, imprevisibles, cuya magnitud supere la capacidad financiera de respuesta de las dependencias y entidades paraestatales, así como de las entidades federativas (ver anexo).

Para acceder a los recursos del FONDEN deberá haber una declaratoria de desastre natural por parte de la Federación, a petición del gobernador del estado, cuando la atención de los daños rebase su capacidad operativa y financiera. En la solicitud se deberá declarar que el daño supera la capacidad financiera para ser atendido por las autoridades estatales y municipales, por lo que se solicita apoyos a la Federación con cargo al FONDEN.

La Federación corroborará la ocurrencia del desastre natural y emitirá la declaratoria respectiva para que se accedan a los recursos del FONDEN para la atención de la población damnificada y los daños sufridos en la infraestructura pública, bosques, áreas naturales protegidas y monumentos arqueológicos, artísticos e históricos con motivo de un desastre natural.

La Federación realizará el diagnóstico y propuesta de acciones para la reparación de daños en el ámbito de

su competencia, concertado con el gobierno del Estado. Una vez elaboradas éstas, serán enviadas a la Secretaría de Gobernación incorporando información sobre el desastre que originó el daño, el listado de municipios y localidades afectadas, la relación y cuantificación preliminar de los daños y el total de personas a apoyar, así como la delimitación de las acciones que realiza la Federación y el Estado, para evitar la duplicidad de esfuerzos y recursos.

La Federación podrá erogar los montos que considere necesarios para dar atención a las necesidades principales de la población, ministrando recursos, los cuales serán regularizados posteriormente con cargo a los recursos del FONDEN, a efecto de que puedan iniciar a la brevedad sus acciones.

En un lapso no mayor a sesenta días hábiles contados a partir de la ocurrencia del desastre, cada instancia responsable deberá presentar la petición definitiva sobre la cuantificación de los daños ocurridos. Con base a esta información, la Federación determinará los apoyos con cargo a los recursos del FONDEN.

Con el fin de hacer del conocimiento de la población las acciones tomadas, así como el monto de los recursos destinados a la atención del desastre, se publica en el Diario Oficial de la Federación y en los diarios de mayor circulación del Estado, información sobre las áreas dañadas, la población afectada y los conceptos para los cuales se destinarán recursos, detallando las obras a realizar por la Federación como por el Estado.

En el caso de daños a la infraestructura pública federal asegurada, se podrá solicitar apoyo transitorio del FONDEN para permitir a la dependencia o entidad federal iniciar la reparación de las obras de forma inmediata. Una vez recibidos los recursos del seguro, éstos deberán ser reintegrados al FONDEN. La reparación o restitución de los daños tendrá el propósito de dejar a la infraestructura pública en condiciones operativas similares a las que prevalecían antes del siniestro.

Los recursos del FONDEN que se destinen a la reparación o restitución de la infraestructura pública se complementarán en su caso, con recursos de las entidades federativas.

En resumen, las Reglas de Operación del FONDEN han permitido mejorar el uso de los recursos de la administración pública federal, estatal y municipal, en la atención de los daños ocasionados ante situaciones adversas. Destaca que la operación del FONDEN le da una alta prioridad a

resarcir, en la medida de lo posible el patrimonio de las personas de escasos recursos y las pérdidas de los productores agropecuarios de bajos ingresos, representando un esfuerzo solidario con la población menos favorecida, y un uso redistributivo de los recursos públicos.

## **Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN)**

El 10 de octubre de 2003 se publicó, el Acuerdo que establece las Reglas de Operación del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales, el cual tiene como finalidad proporcionar recursos tanto a las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal como a las entidades federativas, destinados a la realización de acciones y mecanismos tendientes a reducir riesgos, así como evitar o disminuir los efectos del impacto destructivo de los fenómenos naturales sobre la vida y bienes de la población, los servicios públicos y el medio ambiente.

El 15 de agosto del 2006 se publicó el acuerdo que establece las Reglas del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales, que modifican las reglas de operación originales, a efecto de mejorar su procedimiento, ampliar el número de proyectos con posibilidad de ser presentados y permitir la existencia de proyectos en cartera para el uso de los recursos en caso de cancelación o desistimiento de un proyecto autorizado.

Este Fondo, busca establecer un procedimiento que permita implementar modelos de respuesta para los procesos de evaluación y prevención e implementar proyectos preventivos que disminuyan los efectos devastadores de los fenómenos perturbadores y con ello los costos humanos y materiales.

La existencia de este fondo no sustituye la responsabilidad que corresponde a los tres órdenes de gobierno, para prever en sus respectivos presupuestos, recursos destinados a la realización de acciones preventivas, contemplando entre las líneas generales de acción, lo siguiente:

- Mejorar la eficacia preventiva y operativa del Sistema Nacional de Protección Civil.
- Mejorar el conocimiento científico de amenazas y riesgos.
- Promover la reducción de la vulnerabilidad física.

- Fomentar la corresponsabilidad, coordinación y comunicación de los tres ámbitos de gobierno, sector social, privado y la población en general.
- Fortalecer la investigación aplicada para desarrollar o mejorar tecnologías para mitigar los riesgos.
- Implantar una política y cultura de la autoprotección.

## 1.7 Impactos ambientales

La inequidad, la pobreza extrema, la degradación ambiental y el cambio climático, han propiciado el aumento del riesgo frente a amenazas naturales.

Asimismo, el crecimiento urbano acelerado y no planificado se traduce en un aumento de los asentamientos en terrenos inestables o inundables y de muy alto riesgo donde los fenómenos naturales tienen consecuencias devastadoras, [ver cuadro 1](#).



Cada año, más de 200 millones de personas son afectadas por sequías, inundaciones, tormentas tropicales, terremotos, incendios forestales y otras amenazas.

De todos los fenómenos naturales las inundaciones son, quizás, el tipo de desastre más frecuente y uno de los más destructores.



Las inundaciones, son el resultado de la manifestación de fenómenos naturales que usualmente son normales en la vida del planeta, de hecho, algunos de ellos han existido desde hace millones de años, incluso antes de que el hombre poblara la Tierra.

En la prehistoria se produjeron grandes inundaciones en algunas zonas, como lo atestiguan los restos geológicos. Así, la formación de mares cerrados como el Mediterráneo (ver foto 1) o el Mar Negro se deben a movimientos tectónicos y cambios climáticos que inundaron estas zonas.

El final de la edad de hielo tuvo consecuencias determinantes en todo el globo con la formación de nuevos lagos y mares en zonas que anteriormente no ocupaba el mar.



Foto 1. Mar Mediterráneo, 2.5 millones de km<sup>2</sup>.

En los últimos 50 años, el registro estadístico de las inundaciones se ha multiplicado por factores de cinco y diez; hoy se observan inundaciones 10 veces más que hace 50 años y 5 veces más que hace sólo 10 años, ver la foto 2.

Al respecto, muchos afirman que poco o nada podemos hacer frente a la fuerza de la naturaleza, sin embargo, se tratará de responder las siguientes preguntas: ¿Qué tan naturales son los fenómenos naturales?, ¿Sólo se deben a la fuerza de la naturaleza?, ¿Quiénes son responsables?, ¿Qué se debe hacer para prevenirlos y/o controlarlos?

El ciclo hidrológico es el proceso mediante el cual se renueva el agua en el planeta. La precipitación de agua de una región en particular, depende, entre otros factores, del clima, la fisiografía, la vegetación y la geología.

Si alteramos uno o varios de estos factores, modificamos la capacidad de las cuencas y de los acuíferos para

captar, almacenar y conducir el agua, hecho que ha ocurrido en el transcurso del tiempo, al deforestar las cuencas y al construir infraestructura inadecuada.

Por lo tanto, el incremento de los desastres se debe principalmente a la ejecución de actividades sin la adecuada planeación, especialmente en áreas propensas a este tipo de acontecimientos.



Foto 2. Inundación en Villahermosa, Tab.

## Deforestación

La deforestación, altera la capacidad de las cuencas y acuíferos para retener el agua, y permite que el agua escurra y destruya la capacidad de los suelos para retenerla.

Los bosques son presas naturales que retienen el agua en las cuencas y la liberan lentamente en forma de arroyos y manantiales

Las copas de los árboles interceptan la lluvia, protegen el suelo e incrementan su potencial para absorber agua, ver la foto 3.

## Causas de la deforestación

### Conversión a agricultura y ganadería

Una es el avance de las tierras agrícolas y ganaderas que reemplazan a los bosques, por supuestas razones comerciales de exportación.

La verdad es que muchas de las tierras convertidas no son aptas para la agricultura y la ganadería, ya que sus suelos son escasos y pobres en nutrientes.

El resultado es una baja productividad a muy alto costo, por la pérdida de ecosistemas, flora y fauna y sus bienes y servicios. Después de un tiempo las tierras



desmontadas son abandonadas debido a su reducida productividad.



Foto 3. Copas de los árboles.

#### Conversión debido a desarrollo de infraestructura

La construcción de infraestructura, como líneas eléctricas, carreteras, presas, minas y desarrollos turísticos que contribuyen a la deforestación, tanto por sus efectos directos como indirectos.

Las carreteras eliminan amplias franjas de bosques y selvas en donde además de causar la pérdida del hábitat, ocasionan su fragmentación, es decir, el aislamiento de los ecosistemas forestales remanentes, [ver foto 4](#).

Además, las carreteras promueven el acceso a la urbanización y la subsecuente conversión de bosques y selvas a áreas urbanizadas.



Foto 4. Aislamiento y fragmentación.

#### Manejo forestal para obtener madera

Una causa más es el aprovechamiento forestal que ha sido muy selectivo sobre las mejores especies de árboles y los mejores individuos, árboles grandes y rectos, de manera tal que generalmente los bosques han sido descremados, afectando su función, composición y estructura.

Durante los últimos 25 años, el manejo forestal ha ido mejorando y algunos propietarios de bosques, principalmente de comunidades y ejidos, se han preocupado por perfeccionar su manejo forestal. Sin embargo, la proporción de bosques manejados con criterios ambientales es muy baja, mientras la extracción ilegal que deja a los bosques altamente deteriorados es muy alta, [ver foto 5](#).



Foto 5. Obtención de madera.

#### Manejo forestal para obtener pulpa y papel

La obtención de pulpa y papel de los bosques también puede deteriorarlos, aunque la mayoría de estos materiales se producen actualmente en bosques en regeneración y plantaciones, una proporción se genera en bosques naturales.

Si bien las plantaciones son una alternativa para obtener estos productos, no deben sustituirse bosques naturales por plantaciones, ya que éstas no proporcionan el hábitat necesario para fauna y flora, ni los servicios ambientales que proveen los bosques naturales.

#### Obtención de leña y carbón

En la actualidad, la leña sigue siendo la principal fuente de energía en comunidades rurales. El impacto de su recolección es poco notable pero es constante y deteriora el bosque. Aunque no se cortan árboles para obtener leña, la continua recolección de ramas y troncos del suelo

elimina hábitats para muchos organismos y nutrientes, lo que impide que el bosque siga siendo productivo.

### Deterioro por contaminación

La contaminación atmosférica causa la llamada “lluvia ácida”, que es la precipitación con altos niveles de ácido nítrico o sulfúrico. Estos ácidos afectan a los organismos directamente, como es el caso de muchos árboles que se debilitan y son afectados por plagas, los bosques en buen estado de salud son más resistentes a las plagas. El Parque Nacional “Desierto de los Leones” y otras áreas boscosas alrededor de la Ciudad de México se han deteriorado debido a la contaminación atmosférica.

Finalmente, el fuego es el instrumento más importante a través del cual se conduce el proceso de deforestación, y se utiliza ampliamente en el territorio nacional sobre todo en el sur y sureste.

Desde tiempos prehispánicos, y como una de las herencias más persistentes e imbatibles, el fuego es quizá la herramienta de trabajo rural de mayor importancia en grupos campesinos tradicionales.

El fuego economiza el esfuerzo personal y demanda poco capital y tecnología. Se aplica para desmontar y remover la vegetación natural y dar espacio a cultivos (básicamente a las milpas) o a áreas de pastoreo, con el beneficio adicional de incorporar algunos nutrientes al suelo que provienen del material orgánico calcinado.

La versión benigna de esta práctica conlleva la utilización de líneas guardafuego que supuestamente impiden que los incendios se propaguen más allá del predio donde se practica el desmonte, [ver foto 6](#).



Foto 6. Incendio de bosques.

Así, se desarrolla la agricultura nómada de roza-tumba-quema que implica abandonar los terrenos después de una o dos cosechas, una vez que se ha perdido la fertilidad y el suelo ha sido presa de la erosión; se procede entonces a la quema y desmonte de nuevas áreas.

Esta práctica data de milenios, cuando densidad poblacional era baja y permitía la recuperación natural de los terrenos abandonados después de varias décadas, sin embargo, actualmente con la escasez de tierras, altas pendientes, suelos erosionados y fuertes presiones demográficas, se ha configurado una espiral funesta de productividad en declive, mayor pobreza y destrucción de ecosistemas.

Por medio de estos incendios no reconocidos como tales se pierden, presumiblemente, entre 200 mil y 400 mil hectáreas al año, [ver cuadro 2](#).

Cuadro 2. Deforestación anual por regiones

Región	Deforestación (miles ha)
Noreste	92.3
Noroeste	96.3
Occidente	62.1
Centro	67.5
Sureste	189.8
<b>Total</b>	<b>508.0</b>

Fuente: SEMARNAT

### Construcción de infraestructura

Las inundaciones también son provocadas por la construcción de carreteras en áreas frágiles, sin la pendiente adecuada, peralte óptimo, o inclinación proporcional a los taludes, y sin implementar las acciones señaladas en los estudios de impacto ambiental, en el plan de manejo o en las medidas de mitigación, y en consecuencia son causas detonantes de derrumbes y deslizamientos, [ver foto 7](#).

Otro caso importante es la construcción de puentes, que no se calculan adecuadamente de acuerdo con el flujo histórico de los ríos, la fluctuación de sus caudales y la precipitación pluvial aguas arriba, así como con la naturaleza hidrogeológica de su área de influencia.



Foto7. Deslizamiento en carreteras.

### Asentamientos irregulares en zonas inundables

Por otra parte, las invasiones a zonas inundables, en las que se construyen viviendas en áreas de riesgo, y en suelos inestables ubicados en laderas con riesgo de deslizamiento; donde las viviendas construidas no soportan las fuertes lluvias, y además de que la población no recibe el asesoramiento sobre cómo reforzar estructuralmente sus viviendas para protegerlas contra estos desastres.

La presión demográfica que se vive en muchas regiones y ciudades del país, ha propiciado una demanda de suelo habitacional, así como de más recursos financieros para urbanizarlos; estas dos condiciones han incrementado los precios de tierra por lo que con el afán de encontrar un lugar donde vivir, hay familias que se aventuran en asentamientos irregulares y en su mayoría son presa de especuladores y traficantes.

Se estima que más de la mitad de los residentes urbanos de las grandes ciudades de país viven en condiciones de pobreza.

Los residentes de esos cinturones de pobreza tienen ingresos muy bajos, educación limitada, una dieta insuficiente y viven en condiciones antihigiénicas de hacinamiento.

El agua potable, la disposición de los residuos sólidos, las viviendas y el transporte son particularmente deficientes en las áreas urbanas marginales.

Los residentes de las ciudades están expuestos a niveles de contaminación en aumento, pero los más pobres viven en la periferia, donde generalmente se ubican las fábricas y la protección ambiental es mínima.

La construcción deficiente y la naturaleza espontánea de estos asentamientos los hace particularmente vulnerables a los efectos de las inundaciones.

En general, las mujeres son las menos favorecidas y también los niños sufren la pobreza en forma desmedida, y la calidad futura de sus vidas pelagra a causa de los deficientes niveles de nutrición, salud y educación.

En conclusión, las causas de que las inundaciones se hayan incrementado, son sustancialmente las acciones emprendidas por el hombre y las instituciones.

No cabe duda que las fuerzas naturales del planeta desempeñan un papel importante en el origen de las inundaciones, pero no son la única causa de las mismas, el hombre es también responsable de que ellas ocurran.

En efecto, dos son las causas principales que dominan los desastres: la vulnerabilidad humana y el deterioro ambiental.

En tal escenario, conjuntamente con otras instituciones públicas y privadas, se debe formular un "Programa de Control de Inundaciones" y para el efecto, es de suma importancia recopilar información de diversa índole, para la planeación, coordinación y ejecución de acciones, adecuadas y efectivas, que deben considerar las fases de inter-desastre, de alerta, de impacto, de emergencia y de reconstrucción a fin de proteger principalmente la seguridad y la salud humana.

Se recomienda recopilar y procesar, la siguiente información pública y privada:

- Registros del caudal de los ríos, y en particular, de sus variaciones durante eventos climáticos extremos.
- Cuando no estén disponibles los datos estadísticos sobre los caudales máximos y la extensión de las inundaciones para los diferentes caudales, se puede recolectar la información histórica de los residentes y de los archivos locales, y analizar la geología de los depósitos aluviales, para ayudar a determinar el período y la extensión de las inundaciones del área.
- Censos de población, para identificar los grupos más vulnerable, como niños, minusválidos y ancianos, [ver foto 8](#).
- Inventario de la infraestructura de agua potable, drenaje y saneamiento.
- Propiedades hidráulicas de los suelos de la región.
- Documentar la legislación federal, estatal y municipal, los reglamentos y las normas aplicables.

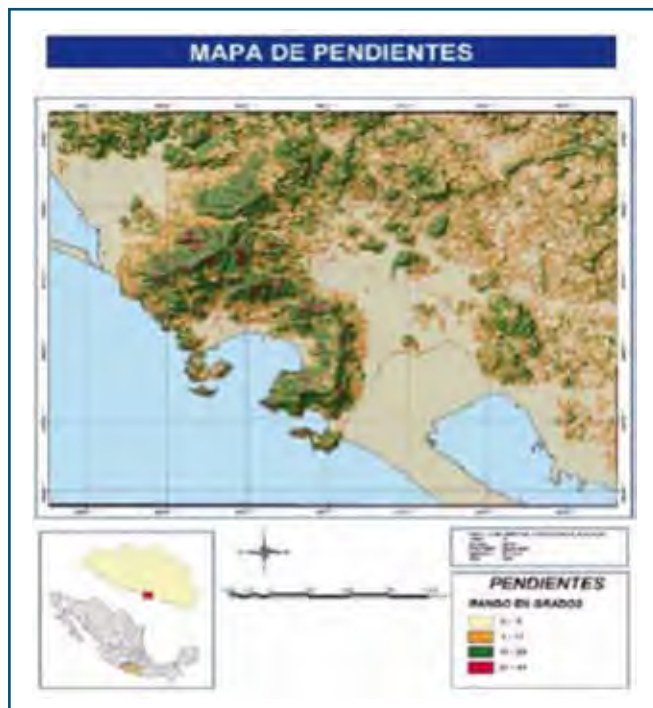




Foto 8. Anciana desprotegida en inundación.

- Inventario de la infraestructura hidráulica, como presas, bordos, canales, entre otros.
- Planes de desarrollo, programas hídricos, de protección de al medioambiente, forestales, entre otros.
- Documentar la ocurrencia de la deforestación de bosques y la degradación de los suelos de la región.
- Documentar los domicilios, números telefónicos, y correos electrónicos, oficiales y particulares de los responsables de planear, coordinar y ejecutar acciones.
- Planos de urbanización de las poblaciones, para identificar escuelas y hospitales, y posibles albergues.

- Planos por subregiones con curvas de probabilidad de daños y pérdidas.
- Mapas de la extensión de la zona aluvial y la frecuencia de las inundaciones.
- Mapas de pendientes en escala 1:100.000 o mayor.
- Mapas, en escala 1:100.000 o mayor, indicando las áreas susceptibles a inundación. Estos mapas son útiles para preparar los planes de uso del suelo y los reglamentos correspondientes.
- Datos sobre la cantidad, intensidad, tiempo y distribución geográfica de la lluvia; y sobre los modelos de las lluvias.
- Datos sobre las condiciones de humedad del suelo durante las diferentes temporadas del año.
- Datos sobre el derrame de ríos (incluyendo registros anuales máximos) y del almacenamiento y regulación de los caudales de los ríos.
- Datos sobre los cambios en el drenaje y los otros factores que intervienen en el flujo de las aguas provenientes de las lluvias.
- Datos sobre la erosión hídrica de suelos, el contenido de sedimento del agua del río y los problemas de sedimentación en las áreas aguas abajo.
- Los cambios en el rumbo y lecho del río.
- Los cambios demográficos en la zona aluvial y la cuenca hidrográfica.



- El uso rural y urbano de la tierra (el uso controlado e incontrolado de la tierra en la zona aluvial y las cuencas hidrográficas del río).
- Los impactos socioeconómicos causados por los proyectos (incluyendo los cambios que se producen en la agricultura, el pastoreo y la pesca, como resultado del proyecto).
- Los estudios de impacto ambiental de toda la infraestructura construida en la cuenca hidrográfica, así como sobre el monitoreo de las medidas de mitigación.
- Los efectos de las medidas tomadas para controlar las inundaciones sobre la pesca de río, de estero, o marina cerca de la playa; sobre la vegetación de la zona aluvial; sobre las tierras húmedas, y los hábitats y poblaciones de la fauna.
- Los ordenamientos territoriales y ecológicos de la cuenca hidrográfica.

## 1.8 Glosario de términos

- **Clima:** Conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Temperatura particular y demás condiciones atmosféricas y telúricas de cada país.
- **Contaminación:** Grado de concentración de elementos químicos, físicos, biológicos o energéticos por encima del cual se pone en peligro la generación o el desarrollo de la vida, provocando impactos que ponen en riesgo la salud de las personas y la calidad del medio ambiente.
- **Cuenca:** Área delimitada por un límite topográfico bien definido (parteaguas). Es una zona geográfica donde las condiciones hidrológicas son tales que el agua se concentra en un punto en particular a partir del cual la cuenca se drena. Dentro de este límite topográfico, la cuenca presenta un complejo de suelos, geformas, vegetación y uso de la tierra.
- **Deforestación:** La conversión de bosques a otro uso de la tierra o la reducción a largo plazo de la cubierta forestal por debajo del 10%.
- **Degradación:** Cambios dentro del bosque que afectan negativamente la estructura o función del bosque o sitio reduciendo su capacidad de proporcionar productos y/o servicios.
- **Desastre:** Interrupción seria del funcionamiento de una comunidad o sociedad que causa pérdidas humanas y/o importantes pérdidas materiales, económicas y/o ambientales; que exceden la capacidad de la comunidad o sociedad afectada para hacer frente a la situación utilizando sus propios recursos.
- **Ecosistema:** Conjunto complejo de relaciones entre organismos vivos que funcionan como una unidad e interactúan con su ambiente físico.
- **Estudio de Impacto Ambiental (EIA):** Estudios llevados a cabo para evaluar el efecto sobre un ambiente específico debido a la introducción de un nuevo factor, que puede alterar el equilibrio ecológico existente.
- **Erosión hídrica de suelos:** Implica todas las formas de erosión hídrica, incluyendo erosión laminar, surcos y cárcavas, así como las formas inducidas por el hombre como deslizamientos causados por corte de vegetación o por construcción de caminos.

- **Fisiografía:** Descripción de los rasgos físicos de la superficie terrestre y de los fenómenos que se producen en ella.
- **Geología:** Ciencia que estudia la forma exterior e interior del globo terrestre, la naturaleza de las materias que lo componen y su formación, los cambios o alteraciones que estas han experimentado desde su origen, y de la colocación que tienen en su actual estado.
- **Información Pública:** Información, hechos y conocimientos adquiridos o aprendidos como resultado de investigación o estudio, disponible para ser difundida al público.
- **Inundación:** Es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, bien por desbordamiento de ríos, por subida de las mareas por encima del nivel habitual por avalanchas causadas por tsunamis.
- **Mitigación:** Medidas estructurales y no-estructurales emprendidas para limitar el impacto adverso de las amenazas naturales y tecnológicas y de la degradación ambiental.
- **Monitoreo:** Obtención espacial y temporal de información específica sobre el estado de las variables ambientales, destinada a alimentar los procesos de seguimiento y fiscalización ambiental.
- **Ordenamiento Territorial:** La expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de la sociedad. Es a la vez una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como un enfoque interdisciplinario y global, cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector.
- **Ordenamiento Ecológico:** Instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias del deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos.
- **Planificación territorial:** Rama de la planificación física y socio-económica que determina los medios y evalúa el potencial o limitaciones de varias opciones de uso del suelo, con los correspondientes efectos en diferentes segmentos de la población o comunidad cuyos intereses han sido considerados en la toma de decisiones.
- **Preparación:** Actividades y medidas tomadas anticipadamente para asegurar una respuesta eficaz ante el impacto de amenazas, incluyendo la emisión oportuna y efectiva de sistemas de alerta temprana y la evacuación temporal de población y propiedades del área amenazada.
- **Población:** Conjunto de individuos de la misma especie que ocupan una misma área geográfica. Conjunto de personas que habitan la Tierra o cualquier división geográfica de ella.
- **Prevención:** Actividades tendentes a evitar el impacto adverso de amenazas, y medios empleados para minimizar los desastres ambientales, tecnológicos y biológicos relacionados con dichas amenazas.
- **Precipitación:** Agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra.
- **Pronóstico:** Declaración definida o estimación estadística de la ocurrencia de un acontecimiento futuro (UNESCO, WMO).
- **Recuperación:** Decisiones y acciones tomadas luego de un desastre con el objeto de restaurar las condiciones de vida de la comunidad afectada, mientras se promueven y facilitan a su vez los cambios necesarios para la reducción de desastres.
- **Riesgo:** Probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiente) resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad. Desde el punto de vista de pérdida, el riesgo puede verse como la combinación de tres factores importantes: el costo o valor de los bienes expuestos a un evento, por su nivel de vulnerabilidad o daño ante el evento en acción, por la probabilidad de que el evento ocurra.
- **Sistemas de Información Geográficos (SIG):** Análisis que combinan base de datos relacionales con interpretación espacial y resultados generalmente en forma de mapas. Una definición más elaborada es la de programas de computador para capturar, almacenar, comprobar, integrar, analizar y suministrar datos terrestres georeferenciados.



- **Vulnerabilidad:** Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos, y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de amenazas. Susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador, es decir, el grado de pérdidas esperadas.

## Referencias bibliográficas

- FAO. *Terms and definitions. Global Forest Resources Assessment Update*. Forestry Department. 2005
- SEMARNAT. *Compendio de Estadísticas Ambientales, 2007*. México, 2008.

# Capítulo 2

## Modelos hidráulicos

### 2.1 Estudios meteorológicos

Para establecer un gasto o caudal de diseño (al que corresponde un cierto periodo de retorno) sin contar con una estación hidrométrica, se recurre a la obtención de datos de precipitación pluvial en y alrededor de la cuenca que alimenta de escurrimiento al cauce en el sitio de interés. Existen diferentes niveles de detalle de los estudios pluviométricos que se pueden realizar, dependiendo de la información. La conversión de precipitación pluvial en la cuenca a escurrimiento que llega al cauce se realiza a través de los llamados modelos lluvia-escurrimiento, o modelos de cuenca, mismos que se tratan en la sección 2.2 Estudios hidrológicos.

#### El estudio más típico

En las condiciones más típicas los datos de precipitación pluvial disponibles tendrán las características siguientes:

- a) Resolución temporal de un día, típicamente mediciones de la lámina acumulada entre las 8:00 am de un día a las 8:00 am del día siguiente.
- b) Densidad de estaciones pluviométricas (como un subconjunto de las climatológicas tradicionales) no mejor

a una estación cada 20 km de distancia, es decir, un punto de medición cada 400 km<sup>2</sup>.

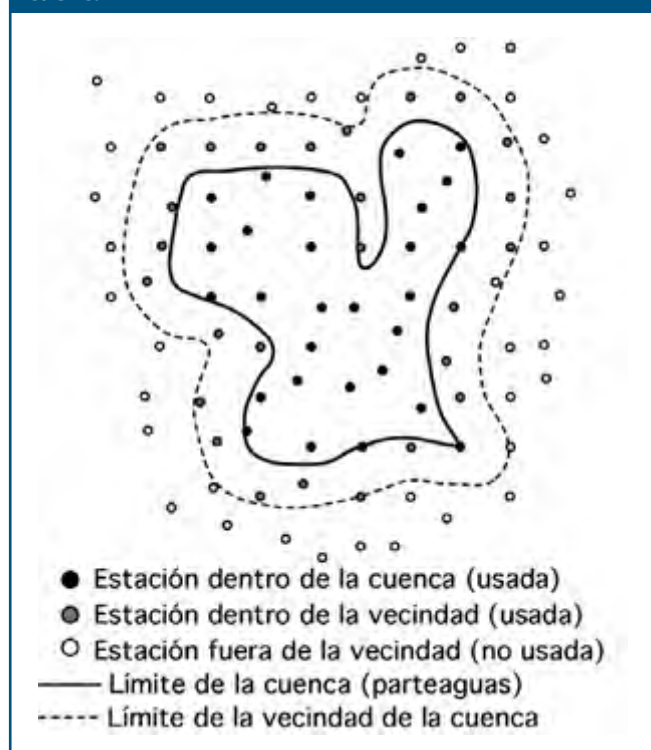
- c) El período de tiempo cubierto por cada estación será diferente. Por ejemplo, registros de 1939 a 1988 en una estación y de 1959 al 2005 en el caso de su vecina. La intersección de los intervalos comunes a todas las estaciones será en general mucha más corto que el típico de cada estación en lo individual.
- d) Cada registro pluviométrico tendrá una cierta fracción de huecos o días con datos faltantes. Los días sin dato, en general, no coincidirán entre una estación y otra.

Una vez definida la cuenca de interés (ver en el capítulo 1, cartografía), se identifican las ubicaciones de las estaciones dentro o en la vecindad de la misma. Aquí es necesario enfatizar que lo que idealmente interesaría es tener la distribución geográfica exacta de la lluvia dentro de la cuenca y las estaciones de medición cercanas a la cuenca o aún fuera de ella, deben ayudar a obtener una mejor aproximación a esta definición ideal ¿Qué tan lejos de la cuenca es necesario buscar? Del orden de la distancia típica de separación entre estaciones en la región. Es necesario recordar que, más estaciones de las estrictamente necesarias podrían no resultar útiles en el estudio, aunque casi nunca producirán un perjuicio al mismo, así que de ignorar esta receta de la franja

alrededor de la cuenca en estudio, es mucho mejor hacerlo exagerando hacia la alta que exagerando hacia la baja. Varias de las fuentes de datos pluviométricos mencionados en el [capítulo 1.2](#) permiten hacer una búsqueda automática dentro de un área rectangular o un polígono irregular definido por el usuario, por lo que este rectángulo o polígono debe incluir, no solamente a la cuenca en sí, sino a la franja vecina que ya hemos mencionado. En la [figura 2.1.1](#) se ilustra este concepto para un caso ejemplo cualquiera.

Una vez que se cuenta con los registros pluviométricos de cada una de las estaciones, es necesario seleccionar los casos de lluvia significativa que podrían terminar aportando el escurrimiento más alto al cauce de interés para cada año del registro. Por ejemplo, si se seleccionan los cinco casos de mayor lámina diaria puntual para cada una de las estaciones, y para cada uno de sus años de registro, es casi seguro que entre ellos estará el caso de máximo escurrimiento anual.

**Figura 2.1.1. Estaciones de medición en relación a la cuenca**



Sólo que, por ejemplo, de contar con 10 estaciones pluviométricas, se podría requerir analizar 50 tormentas diarias para cada año de registro. Habrá que descartar

los casos en los que, por su antigüedad, sea difícil contar con información pluviométrica, es decir, aquellos en los que menos del 20% de las estaciones seleccionadas tengan registro.

### Métodos tradicionales para obtener la lámina representativa en la cuenca

Dependiendo del modelo lluvia-escurrimiento que se vaya a utilizar, lo que se busca es una lámina promedio para la totalidad de la cuenca en el día que se estudia (para modelos de parámetros concentrados) o la distribución de la lluvia de ese día en el interior de la cuenca (para modelos de parámetros distribuidos). Los segundos son físicamente superiores a los primeros pero, aún hoy en día, los primeros resultan mucho más comunes.

Tradicionalmente se han considerado tres opciones para calcular los valores promedio dentro de la cuenca:

- El promedio aritmético
- Promedio pesado por polígonos de Thiessen
- Promedio pesado por isoyetas

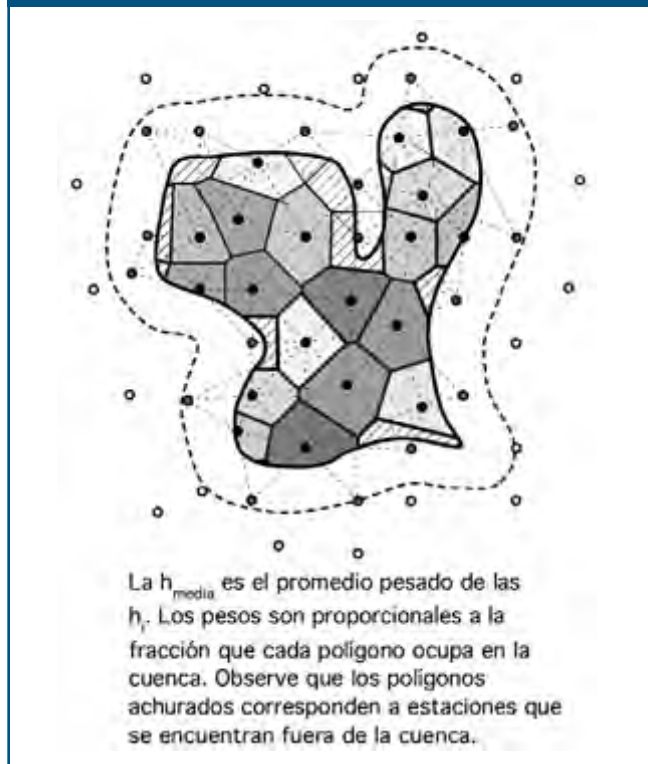
El promedio aritmético no tiene ninguna base física y debe evitarse en todas las aplicaciones excepto cálculos burdos en campo. Tiene sentido solo cuando las estaciones son equidistantes.

El método de los polígonos de Thiessen tiene una base física muy intuitiva y es relativamente fácil de aplicar manualmente. Su principal desventaja es que se debe elaborar un juego distinto de polígonos de Thiessen para cada combinación distinta de estaciones de medición con dato en el conjunto de todos los casos diarios a analizar. En la [figura 2.1.2](#) se ilustra este método y en la misma se observa fácilmente el por qué las estaciones en cierta vecindad de la cuenca en estudio deben ser consideradas (sus polígonos de Thiessen pueden tener porciones en el interior de la cuenca).

Finalmente, el método de isoyetas (líneas de igual precipitación pluvial), considerado como superior al anterior, consiste en evaluar la fracción de la cuenca que se encuentra entre dos isoyetas adyacentes y con los valores así obtenidos se calcula un promedio pesado. En la [figura 2.1.3](#) se ilustra este método. La principal ventaja de este método, misma que comparte con el que se presenta en la siguiente sección, es que el proceso no cambia por el hecho de que el conjunto de estaciones

disponibles con dato en un cierto día, no coincide con el subconjunto de estaciones con dato disponible en otro día distinto. Las isoyetas, con mayor o menor nivel de confianza, siempre se podrán trazar en cualquier de los días. La recomendación en esta época es utilizar el equivalente discreto (vs continuo) del método de isoyetas aplicado con herramienta computacional comercial.

Figura 2.1.2. Método de polígonos de Thiessen

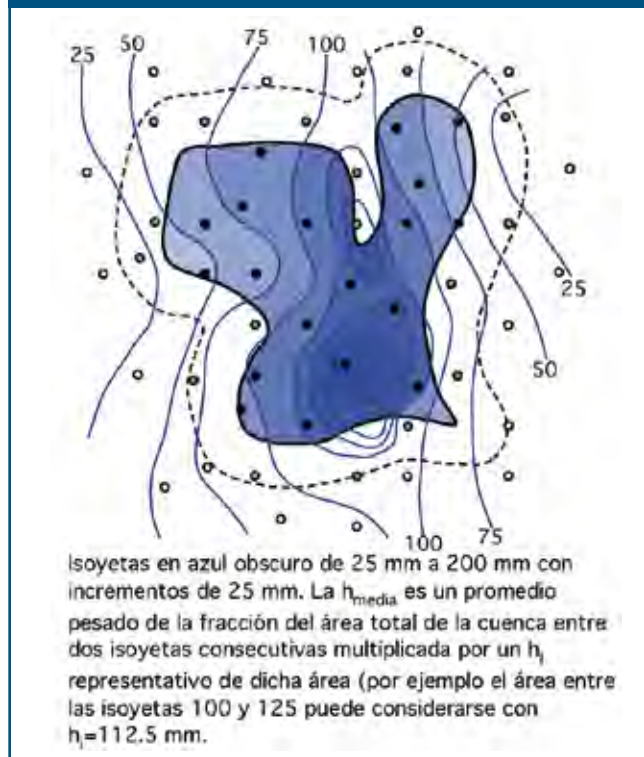


### Recomendación sobre el método a utilizar en la actualidad

La forma más común y eficiente de realizar la tarea de la obtención de valores promedio de lámina de lluvia diaria sobre la cuenca en estudio es el que implementa la herramienta computacional Surfer, (Golden Software, 2002) aunque ciertamente la recomendación no está restringida a este producto comercial. Otros equivalentes del dominio público para otros sistemas operativos están disponibles.

Sin embargo, resulta relativamente fácil de implementar una herramienta propia en un lenguaje de programación cualquiera (para el cálculo del valor medio en la cuenca, no necesariamente para obtener gráficas vistosas). De hecho

Figura 2.1.3. Método de isoyetas



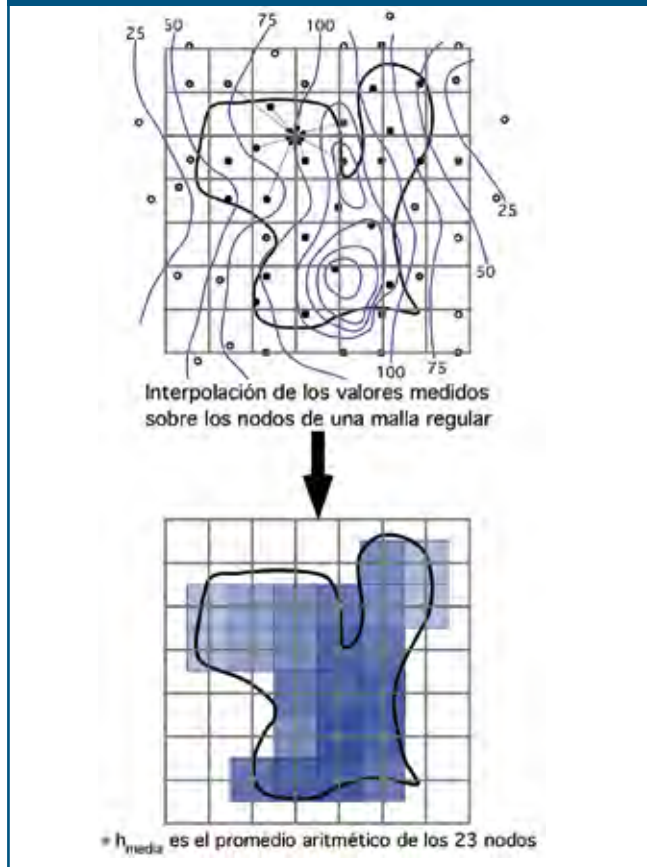
Surfer se identifica típicamente como un programa de computadora para elaborar gráficas de isolíneas, gráficas tipo imagen y graficas tridimensionales (cualquiera que se pueda expresar como un campo  $h(x, y)$ ). Pero también incluye la funcionalidad de calcular el volumen bajo la superficie definida por ésta  $h(x, y)$ , así como la de recortar el volumen al interior de un contorno arbitrario (en este caso la cuenca) y hasta de calcular el área en el interior de dicho contorno arbitrario (es decir el área de la cuenca). Esto permite hacer directamente los cálculos necesarios, puesto que la lámina promedio dentro de la cuenca es el volumen precipitado dividido entre el área de la cuenca. De hecho se puede interpretar que Surfer aplica el método de isoyetas, pero con un algoritmo más afín a información discreta. A continuación algunos detalles al respecto.

El archivo típico de entrada a una sesión de Surfer o *software* similar sería uno de texto que definiría una línea por cada estación de medición y un mínimo de tres columnas, la primera con la coordenada "x" de la estación (de oeste hacia este), la segunda con la coordenada "y" de la estación (de sur a norte) y la tercera con el valor medido (la lámina diaria puntual). De hecho, se

pueden acomodar muchos días en el mismo archivo pues, de la tercera columna en adelante, se puede ocupar cada columna por los valores medidos en una fecha específica, digamos la tercera columna para las mediciones del 12 de julio de 1955, la cuarta columna para los valores del 25 de junio de 1957, la quinta para los valores del 17 de junio de 1960, etcétera. Las coordenadas “x” y “y” pueden ser longitud y latitud de la estación (en grados o coordenadas UTM en m). Una buena recomendación en cuando a ellas es que se aplique la convención matemática utilizando valores negativos para la longitud hacia el oeste del meridiano de Greenwich, en lugar de la convención geográfica de oW, además de que se expresen ambas en la versión de grados con fracciones decimales en lugar de grados, minutos y segundos. Por ejemplo, una porción de este tipo de archivo podría verse como:

- -100.23547 20.89456 127.4
- -100.10102 20.65346 189.6
- -99.98145 21.01345 154.0

**Figura 2.1.4. Método a través de interpolación a malla regular**



El siguiente paso es solicitar al *software* que realice una interpolación de los puntos  $x$ ,  $y$ ,  $h_i$  sobre una malla regular, es decir una serie de puntos equidistantes con un cierto algoritmo de interpolación. Existen decenas de variantes de estos algoritmos de interpolación (Golden Software, 2002) y su descripción rebasa el alcance de este manual. Baste con decir que entre los más comunes están el de “promedio pesado de las estaciones vecinas con peso proporcional al inverso de la distancia al cuadrado”, y el de Krigging La interpolación realizada es, de todas formas, un pre-requisito para poder pedir la elaboración del mapa de isoyetas. Acto seguido se solicita al *software* el recorte del dominio a sólo aquellos nodos efectivamente dentro del contorno (parteaguas) de la cuenca. El *software* mantiene un dominio rectangular pero marca con una bandera de dato no disponible a todos los valores nodales fuera del contorno de la cuenca (que no son tomados en cuenta en los cálculos posteriores). Después se solicita la obtención de las estadísticas de los valores en la malla regular, dentro de las cuales, por supuesto, aparece el  $h_{\text{medio}}$ . Si se desea explícitamente se puede solicitar el volumen debajo de la superficie  $h(x, y)$  y el área del contorno, donde el primero dividido entre el segundo produce también el  $h_{\text{medio}}$ . La integración se realiza numéricamente considerando la altura de las columnas de cada celda, al centro de la cual está un nodo. Aquí es importante mencionar que las unidades de volumen precipitado pueden resultar extrañas para un ingeniero, como:

- $(\text{mm})(^\circ \text{ de longitud})(^\circ \text{ de latitud})$

que para ser convertidas a unidades más comunes (como  $\text{m}^3$ ) basta considerar que un grado de latitud mide 111.111 km, mientras que un grado de longitud va de 111.111 km sobre el Ecuador a cero sobre los polos, más precisamente:

- $1^\circ \text{ longitud} = 111.111 \text{ km}(\cos(\text{latitud}))$

Por ejemplo para una latitud cercana a la de la Ciudad de México ( $+20^\circ$ ), un grado de longitud mide:

- $(111.111 \text{ km})(\cos(20^\circ)) = 104.41 \text{ km}$

Una ventaja más de usar estas herramientas modernas, es que el proceso puede ser automatizado



completamente, pudiendo realizarse cientos de mapas de isoyetas y cálculos de  $h_{media}$  en lapsos que van desde unos segundos hasta unos minutos. El proceso descrito se ilustra en la [figura 2.1.4](#).

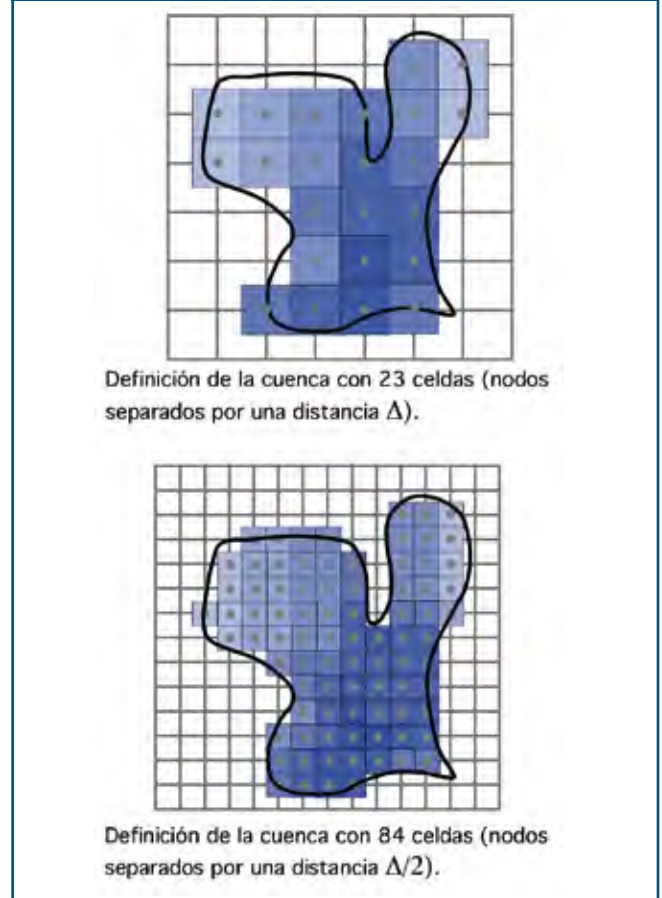
### El tamaño adecuado de la malla regular

¿De qué dimensiones debe ser la malla regular sobre la que se interpola? Si se define una malla regular con espaciamiento entre nodos mucho mayor que la distancia típica entre estaciones de medición, se perdería mucho del detalle del verdadero campo de precipitación muestreado con las estaciones. Por otro lado, si se definiera con espaciamiento mucho menor que la distancia típica entre las estaciones, entonces los archivos serán más voluminosos, los cálculos más lentos, entre otros; sin ganar ningún detalle adicional. Recuerde que el proceso de interpolación no crea nueva información, simplemente plasma la ya existente en otro arreglo más conveniente.

En conclusión, el espaciamiento entre nodos de la malla regular debe ser definido como similar (redondeando a números fáciles de manejar y de recordar) al del espaciamiento típico entre las estaciones de medición. Dada la velocidad de proceso de las máquinas computadoras actuales, inclusive podemos darnos el lujo de establecerlo como cercano a la mínima distancia entre estaciones. La única excepción imaginable se da para cuencas muy pequeñas, si se sigue la receta anterior en estos casos, los cálculos de volumen precipitado y área de la cuenca tendrán errores fuertes, ya que desde el punto de vista de la herramienta computacional la cuenca se forma de un conjunto de celdas con un nodo al centro de cada una de ellas. Si dichas celdas no pueden seguir con suficiente exactitud el contorno de la cuenca, los cálculos discretos resultarían significativamente distintos que sus equivalentes continuos. Este problema se ilustra en la [figura 2.1.5](#).

Como receta, parecería razonable que, aún en cuencas pequeñas, existiera un mínimo de unos 100 nodos dentro de la cuenca. En cuanto a las dimensiones externas de la malla (el llamado dominio), basta con que el rectángulo que lo limita incluya al 100% de las estaciones utilizadas (incluyendo a las de la vecindad antes mencionada).

**Figura 2.1.5. Mejor definición de la cuenca con malla más fina**



### El caso que requiere mayor resolución temporal

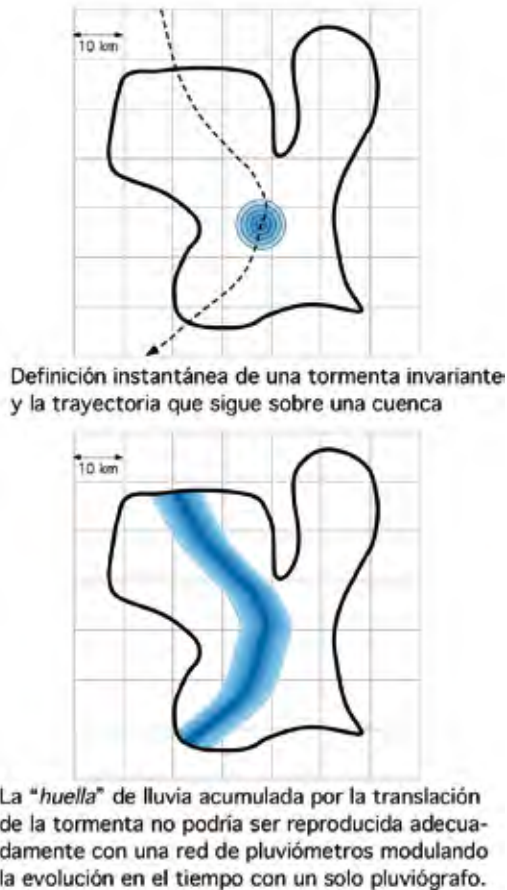
Para cuencas pequeñas, o con muy fuertes pendientes, o una combinación de ambas, el caso que produzca el máximo caudal anual puede requerir una definición de los detalles de la tormenta en el tiempo mayor al de los datos diarios, siendo frecuente que se requiera la evolución de la misma a intervalos de 30 minutos o una hora. Éstas serían cuencas cuyo tiempo de concentración fuera mucho menor a un día ¿Qué podemos hacer al respecto si nuestra información es eminentemente diaria? Se acostumbra, en los casos en los que existe un pluviógrafo que registra datos continuamente o en intervalos mucho menores a 24 horas dentro o muy cerca de la cuenca, el asignar la evolución en el tiempo de la lluvia en el día que se procesa a la medida por este pluviógrafo. Esto es, la distribución espacial (geográfica) se obtiene de la red de



estaciones climatológicas tradicionales con mediciones diarias, pero la distribución temporal (a lo largo del día) del pluviógrafo existente. Si llegaran a existir dos o más pluviógrafos en o muy cerca de la cuenca (muy raro en México), la evolución temporal puede interpolarse entre ellos para definir una evolución temporal en cada punto de medición (o en cada nodo de una malla regular).

Aunque, superficialmente, parece una solución razonable, tiene el problema de ignorar una de las principales razones por las que la lluvia no es uniforme a lo largo del tiempo que es el movimiento de los núcleos convectivos sobre la cuenca. Intrínsecamente, la solución descrita supone que el 100% de la variación temporal de la lluvia se debe a la evolución de la tormenta, desde su formación hasta su decaimiento. La variación temporal de la lluvia por translación de la tormenta se ilustra en la [figura 2.1.6](#).

**Figura 2.1.6. Variación temporal de la lluvia por translación de la tormenta**



¿Dónde existen pluviógrafos o pluviómetros de registro sub-diario? Para registros de larga duración y cierta antigüedad, en los 79 observatorios meteorológicos sinópticos de superficie de la CONAGUA que han registrado la lámina cada hora (más la hora de inicio y fin de lluvia) y la han registrado de manera continua en registros de tinta y papel (que requerirían, al menos parcialmente, ser digitalizados).

Para tiempos más recientes en las estaciones meteorológicas automáticas, tanto las administradas por el SMN y GASIR en la CONAGUA, como por las de otras organismos (gubernamentales federales o estatales, instituciones académicas, redes de alerta temprana, entre otras). A finales del año 2008, el número de estaciones meteorológicas automáticas o equivalentes en el país es cercano a 1,000 y creciendo rápidamente aunque no necesariamente de forma sustentable. Cabe señalar que las operadas por SEMAR o SEDENA son consideradas de seguridad nacional, por lo que es prácticamente imposible acceder a esos datos.

### Casos en donde la condición crítica se presenta en múltiples días consecutivos

Para cuencas muy grandes, con tiempos de concentración mayores a 24 horas, los casos de lluvia crítica para el análisis (los que produzcan el caudal más alto del año) pueden ser secuencias de varios días consecutivos con lluvias significativas.

En primera instancia la solución obvia parecería el generar, en paralelo con las series diarias de cada estación climatológica, series de láminas acumuladas en dos días, en tres días, y así consecutivamente. El problema al respecto es la porosidad de la base de datos. Si el porcentaje de datos faltantes es grande y no se trata de faltantes consecutivos, las series de acumulados en múltiples días tendrán mayores huecos que las series diarias y por lo tanto la probabilidad de perder casos que en realidad fueron críticos sube. Es por ello que la recomendación en este manual es la de hacer el análisis diario interpolando en malla regular, creando series nodales sin huecos. Ya con ellas se puede proceder a generar series nodales de acumulados de dos, tres, o más días consecutivos y a partir de ellas realizar el análisis. Más aún, si el modelo hidrológico es de parámetros concentrados, la serie de acumulados en múltiples días que se requiere generar es solamente de la lámina promedio en la cuenca.

## Casos que requieren resolución sub-día sin existencia de pluviógrafos

Puede ocurrir que no haya pluviógrafos o pluviómetros con registros menores a un día que coincidan con el intervalo de tiempo en el que el resto de la información histórica diaria existe ¿Se puede hacer algo en estos casos? En general se puede recurrir a una técnica, burda pero al fin útil, que no requiere que los datos históricos diarios y los datos pluviográficos se hayan dado en intervalos simultáneos largos.

La idea fundamental es la de caracterizar la duración (y evolución en el tiempo) de las tormentas que típicamente producen volúmenes precipitados significativos en la cuenca. Esto se puede realizar con pluviógrafos, con radar meteorológico o con estimaciones de lluvia vía satélite. Una vez identificado el rango de duraciones y el grado de concentración de las láminas precipitadas en subintervalos de la duración total de las tormentas, se supone que para la muestra histórica larga fueron similares y con ello se obtienen hietogramas cuyas barras individuales corresponden a lapsos de 30 minutos o una hora. En estos casos, dada la incertidumbre inherente al método, resultaría importante no establecer una sola duración típica y un solo factor de concentración en, digamos una hora, sino un rango de ellos y probar qué combinación de entre las posibilidades da el caudal más alto, esto ya utilizando el modelo lluvia-escorrentía específico de la cuenca.

### Posibilidades en análisis exploratorios

El producto denominado MAYA v1.0 mencionado en la sección 1.2 ya contiene los campos de precipitación pluvial diaria sobre todo el territorio nacional, esto para los 14,600 días que transcurren desde el 1° de enero de 1961 y hasta el 31 de diciembre de 2000 (sin considerar los días 29 de febrero en años bisiestos), esto a una resolución espacial de 0.2°. Utilizando la capacidad de recorte de los valores nodales dentro del contorno de una cuenca de herramientas como Surfer (Golden Software, 2002), resulta relativamente rápido recortar los campos nacionales al contorno de la cuenca en cuestión y obtener los valores promedio dentro de la cuenca, no sólo para los días preseleccionados como días con lluvia significativa, sino inclusive para todos los días de la

muestra. Por supuesto que la resolución de la malla de 0.2° limita la utilidad de esta sugerencia para cuencas muy pequeñas, pero ciertamente se pueden realizar análisis exploratorios rápidos a través de este mecanismo.

Dado que los modelos lluvia-escorrentía de cierta sofisticación requieren de todas formas la llamada lluvia antecedente, para calcular el grado de saturación del terreno y con ello estimar un coeficiente de escorrentía realista, entonces el manejo de una serie diaria continua de 40 años de duración ya no suena tan descabellada. Algo similar será posible realizar (con resoluciones del orden de cuatro kilómetros y una hora) con las colecciones de productos históricos de la herramienta de estimación de lluvia vía imágenes de satélite Hidroestimador, desarrolladas por el Servicio Meteorológico de los EUA pero ahora montada ya en forma operativa en la página de Internet del SMN de CONAGUA. Esto por supuesto, una vez que una muestra suficientemente larga se haya acumulado.

### Modelos de parámetros distribuidos

Se ha mencionado ya que, como un paso intermedio opcional, se puede obtener fácilmente el mapa de isoyetas de cada día, en el proceso de obtener la lámina media de la cuenca. Este mapa de isoyetas plasma precisamente la distribución geográfica de la lluvia. Los valores de la malla de nodos detrás del mapa también. Entonces, al menos desde el punto de vista de datos de entrada sobre lluvia para modelos de parámetros distribuidos de lluvia-escorrentía, no existe mayor dificultad, siempre que se usen herramientas computacionales modernas. Por ejemplo, las celdas del modelo lluvia-escorrentía en las que se divide la cuenca (en uno de los dos tipos de estos modelos) pueden hacerse coincidir con las celdas correspondientes a la malla regular de lluvia, o más realísticamente, las celdas del modelo lluvia-escorrentía pueden hacerse de tal tamaño que sea contenida un número entero de veces en cada celda de la malla de datos de precipitación histórica.

Recuerde que, típicamente, un modelo de celdas de lluvia-escorrentía pretendería alcanzar una resolución del orden de un kilómetro por un kilómetro (por ejemplo cabrían aproximadamente 400 celdas, 20 en cada dirección del modelo lluvia-escorrentía dentro de cada celda del producto MAYA v1.0), con ello la

provisión de datos al modelo lluvia-escorrentamiento no requeriría de una nueva interpolación.

Los modelos del tipo de subcuencas, también pueden ser alimentados con datos históricos de la malla de datos históricos de lluvia, solo que habría que establecer qué fracción de cada subcuenca está ocupada por cada celda de lluvia histórica (por una sola ocasión, ya que resulta invariante en el tiempo). Pero recuerde que, así como los modelos de parámetros distribuidos se benefician de contar con una buena aproximación a la distribución geográfica de la lluvia, también lo hacen de contar con una buena resolución temporal.

Por ejemplo, para un modelo de celdas de 1 km por 1 km, la resolución diaria parecería absolutamente insuficiente. Una resolución temporal de 30 minutos parecería más congruente. En la [figura 2.1.7](#) se ilustra el concepto de compatibilizar las mallas de datos y del modelo lluvia-escorrentamiento, así como de alimentar un modelo lluvia-escorrentamiento con las celdas de un producto como MAYA v1.0.

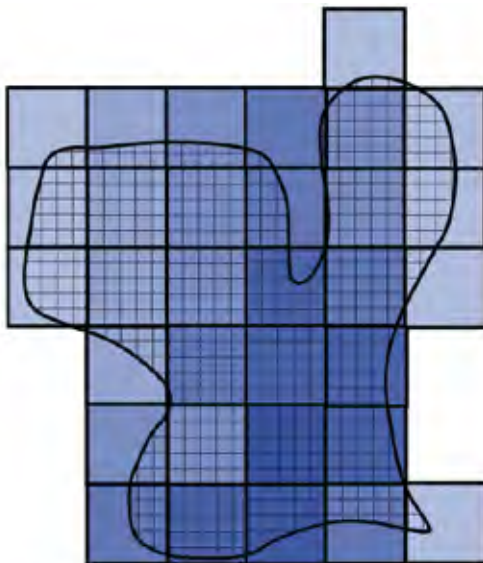
## Conclusión

Se ha descrito el procedimiento general para la obtención de una buena aproximación al campo de lluvias que alimentaría a un modelo lluvia-escorrentamiento, tanto del tipo de parámetros concentrados como del tipo de parámetros distribuidos. Se ha hecho y justificado una recomendación para recurrir a métodos modernos basados en herramienta computacional en el proceso requerido. Se ha concluido que los datos de lluvia disponibles rara vez son los que el ingeniero a cargo querría, pero también se han explorado algunas formas de compensar contra estas deficiencias.

## Referencias bibliográficas

- APARICIO, F.J. (2001). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, Limusa. México.
- Golden Software. *Surfer 8, User's Guide*, Golden, Colorado, 2002.

**Figura 2.1.7. Celdas de un modelo lluvia escurrimiento, de un tamaño tal que las celdas de la evaluación de lluvia resultan múltiples exactos de ellas (5x5 a 1 en el ejemplo)**



Cada celda grande tiene un único valor de lluvia. Cada celda chica (25 en cada grande) tiene un valor propio de pendiente, cobertura vegetal, tipo de suelo, etc.

## 2.2 Estudios hidrológicos

### Determinación de los gastos de diseño para proyectos de obras hidráulicas

El gasto que conduce una corriente es variable pues depende de la magnitud de la precipitación que ocurre sobre la cuenca de aportación y de su distribución tanto en el tiempo como en el espacio.

Al presentarse grandes avenidas la capacidad del cauce puede verse rebasada, con lo que se provocan inundaciones en la zona aledaña a la corriente.

El diseño de las obras hidráulicas relacionados con el control de inundaciones debe contemplar el carácter aleatorio de las avenidas. Para ello, la práctica tradicional ha sido establecer recomendaciones sobre el periodo de retorno de la avenida de diseño en función de conceptos muy generales relacionados con el tipo de obra y con la importancia de la zona que se pretende proteger.

Sin embargo, también puede plantearse que la magnitud más conveniente de la obra de control es función de la relación entre la reducción de los riesgos, entendida como el valor esperado de los daños evitados, y las inversiones correspondientes, y que existen procedimientos que permiten encontrar el periodo de retorno que hace máxima la relación beneficio (en este caso daño evitado) contra costo.

La elección de la avenida de diseño para una obra de protección se ve influenciada por el costo de la obra y el beneficio esperado por la construcción de ésta. Si se desea tener una protección casi total contra las inundaciones, para evitar daños a las propiedades, localizadas cerca del cauce por donde escurre la avenida, se necesitan obras muy costosas ya que al evitar que la crecida exceda la capacidad de la estructura implica construir obras grandes.

Como recomendación fundamental, en algunas obras debe aceptarse un cierto riesgo de que se presente una avenida máxima que provoque algún daño, cuya magnitud debe estar basada en consideraciones cuidadosas de las características de la misma, como son: peligro de pérdida de vidas humanas y materiales, tipo de área que se desee proteger (de cultivo y/o urbana), limitaciones de tipo económico, entre otras.

Entre los factores hidrológicos más importantes a tomar en cuenta en el diseño de las obras de protección están la precipitación y el escurrimiento.

En este capítulo se presentan algunos criterios que permitan estimar las crecientes para el dimensionamiento de una estructura hidráulica.

### Acopio de información

Para el diseño de cualquier estructura hidráulica se requiere de información, la cual, para los fines de esta sección, es de dos tipos, una corresponde a la fisiográfica y la otra a la hidrológica.

### Tipos de datos

Los datos hidrológicos, ya sean lluvias o gastos, se presentan en orden cronológico, en ocasiones sólo algunos de los valores originales tienen aplicación ya que el análisis de los mismos es regido por una condición crítica, es decir, frecuentemente se basa en usar dos tipos de datos. A unos se les llama serie de valores máximos o extremos y a las otras series de excedentes o de duración parcial.

La serie de valores máximos sólo toma en cuenta al valor más grande o más pequeño que estén en el registro para un determinado intervalo constante de tiempo, así, por ejemplo, si este intervalo es de un año y contiene los valores más grandes o pequeños se le designa como una serie de máximos o mínimos anuales, respectivamente.

La serie de excedentes esta formada por un conjunto de datos, los cuales se seleccionan de tal forma que su magnitud sea mayor a un cierto valor de referencia, es decir, el número de datos de la serie debe de ser igual al número de años del registro.

La serie de máximos anuales se utiliza cuando el diseño debe estar regido por las condiciones más desfavorables y la de excedentes cuando el segundo valor más grande en el año puede influir en el diseño.

### Datos fisiográficos

Estos son el área, tipo de terreno y cobertura vegetal de la cuenca, pendiente y longitud del cauce principal, topografía y geología de la zona, entre otros; en Springall (1970) se puede consultar ampliamente una descripción acerca de las características fisiográficas y la manera de calcularlas. En los proyectos preliminares se pueden usar para la

determinación de estos datos las cartas que publican el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) o la Secretaría de la Defensa Nacional.

### Datos hidrológicos

Una dificultad que se presenta en el diseño hidrológico es el de disponer de información de lluvia, escurrimiento, evaporación, temperatura, etcétera; la cual puede obtenerse en los boletines hidrológicos existentes que publicaba la SARH, ahora lo hace la CONAGUA, por medio de discos compactos, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA).

## Selección del criterio a seguir

### Período de retorno

El período de retorno  $T_r$ , expresado en años, se define como el número promedio de años en que un evento puede ser igualado o excedido.

Por ejemplo, si se diseñara una obra para un gasto de  $700 \text{ m}^3/\text{s}$  que tiene asignado un período de retorno de 10 años, ésto significaría que el tiempo que transcurre para que volviera a presentarse un gasto mayor o igual a él, puede ser 8 ó 12 ó 13, o bien 7 años, nótese que el promedio de ellos es precisamente 10 años.

Por otra parte, la probabilidad de que un evento con un período de retorno ( $T_r$ ) ocurra en cualquier año es igual a:

$$q = 1/T_r \quad (1)$$

En un conjunto de eventos máximos anuales, ya sean gastos o lluvias, el período de retorno que se asocia a cada uno de ellos puede ser estimado con la fórmula de Weibull (Viessman, *et al*, 1977).

$$T_r = (n+1) / m \quad (2)$$

donde  $m$  es el número de orden y  $n$  el número total de años del registro.

Para eventos máximos anuales los datos se ordenan de mayor a menor y el lugar que ocupan dentro de la lista cada uno de ellos corresponde al valor de  $m$ ; así, por ejemplo, el mayor valor tiene una  $m = 1$ , mientras que para el más pequeño  $m = n$ .

El período de retorno para los máximos se obtiene con la ecuación (2) y para los excedentes con la expresión siguiente:

$$T_r e = n/m \quad (3)$$

El período de retorno con el cual debe calcularse la avenida de diseño para una estructura se selecciona con ayuda de la [tabla 1](#) en función del tipo de la zona a proteger.

Por otra parte, en la selección de la avenida de diseño deben considerarse los beneficios que se espera obtener con la construcción de la obra, los problemas constructivos que influyen particularmente en la protección de zonas agrícolas y/o urbanas, los beneficios por la disminución en las pérdidas materiales y humanas, entre otros.

**Tabla 1. Período de retorno en función de la zona a proteger**

Características de la zona por proteger	Período de retorno en años
Parcelas agrícolas aisladas, sin posible pérdida de vidas humanas	5
Distritos de Riego, sin riesgo de pérdida de vidas humanas	25
Zonas agrícolas poco pobladas	50
Zona industrial y urbana	500
Zona densamente poblada	1000
Ciudades	1000

Para la selección de la avenida de diseño, se requiere por una parte un análisis hidrológico que lo fundamente y con base en éste hacer el análisis económico del problema. Conforme se incrementa el tamaño de la avenida de diseño, el costo de la obra aumenta y al mismo tiempo, la probabilidad de exceder la avenida disminuye.

Selección de la avenida de diseño		
	Características de la zona a proteger	$T_r$ (años)
A	Corrientes libres en zona:	
	a) Agrícola de pequeña extensión: < 1000 ha	10 - 25
	b) Agrícola de extensión mediana: de 1000 a 10000 ha	25 - 50
	c) Agrícola de gran extensión: > 100000 ha	50 - 100
	d) Para protección a poblaciones pequeñas	50 - 100
	e) Para protección a poblaciones medianas	100 - 500
	f) Para protección a poblaciones grandes	500 - 1000
B	Corrientes controladas:	Diseño tramo libre en A más el gasto regulado para el mismo $T_r$ o el gasto de diseño del control si es superior
	a) Existe un tramo libre: El gasto de diseño se calculará sumando el producido en el tramo libre (si existe) con el de descarga de la obra de control correspondientes al mismo periodo de retorno.	
	b) No existe un tramo libre:	Igual al Qd del control

No obstante, que en la selección final del periodo de retorno para una estructura en particular interviene el criterio del ingeniero, es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

- Importancia de la obra.
- Magnitud de la estructura, por ejemplo la altura de los bordos, la capacidad del cauce de alivio, entre otros.
- Posible daño a propiedades adyacentes.
- Costo de mantenimiento.
- Costos de reparaciones a la obra.
- Amortización del costo de la estructura.
- Inconvenientes por suspensión de su operación.
- Riesgo por pérdida de vidas humanas.

En esta sección se menciona la manera de proceder para los tipos de estructuras menores y mayores.

### Estructuras menores

En este tipo quedan comprendidas, por ejemplo: los bordos, presas pequeñas, alcantarillas que cruzan carreteras, drenaje urbano, entre otras.

Los pasos para definir la avenida de diseño son los siguientes:

23. Se calcula la duración de la tormenta de diseño que, generalmente, se hace igual al tiempo de concentración.
24. Al considerar las características de la zona por proteger y con el tipo de obra se selecciona un período de retorno.
25. Se calcula la lluvia de diseño en función de la duración y periodo de retorno (curvas intensidad-duración-periodo de retorno).
26. Se calcula la lluvia en exceso, si es posible también su distribución en el tiempo.
27. Se selecciona un hidrograma unitario sintético.
28. Se obtiene el hidrograma de escurrimiento directo, usando una de las relaciones lluvia-escurrimiento propuestas más adelante en esta sección.

En la [tabla 2](#) se recomiendan valores para estructuras menores, pero se observa que, por ejemplo, para el drenaje de carreteras el periodo de retorno es grande ya que por una insuficiencia del mismo, los daños económicos pueden resultar de consideración.

**Tabla 2. Período de retorno para estructuras menores**

Tipo de estructura	$T_r$ (años)
Bordos	2 a 50
Zanja para drenaje	5 a 50
Drenaje de aguas pluviales	2 a 10
Drenaje en aeropuertos	5
Drenaje en carreteras	50

Aquí también quedan comprendidos los embalses pequeños, a los que debe darse especial atención cuando están construidos en zonas pobladas, ya que la falla de la cortina puede causar innumerables pérdidas humanas y materiales. El Soil Conservation Service propone la clasificación siguiente y, con base en ella, seleccionar el período de retorno cuando se tengan embalses pequeños.

- **Tipo A.** Estructuras localizadas en zonas rurales o agrícolas donde la falla pueda dañar granjas agrícolas, zonas de cultivo, terrenos públicos o caminos rurales.
- **Tipo B.** Estructuras localizadas en áreas predominantemente rurales o agrícolas donde la falla de ellas



pueda dañar casas aisladas, carreteras principales o caminos rurales.

- **Tipo C.** Estructuras localizadas en sitios donde la falla de ellas pueda ocasionar pérdida de vidas humanas, fuertes daños sobre casas, construcciones industriales y edificios comerciales, carreteras principales y edificios públicos.

Para los tipos de estructura mencionados en la [tabla 3](#) se indica el periodo de retorno que debe asignarse a ellas; en la tabla  $P_{100}$  representa la altura de lluvia para una duración de 6 h y período de retorno de 100 años; PMP es la precipitación máxima probable.

Clasificación	Lluvia de diseño para el vertedor
A	$P_{100}$
B	$P_{100} + 0.12(PMP-P100)$
C	$P_{100} + 0.26(PMP-P100)$

### Estructuras mayores

Se refiere fundamentalmente al tamaño que debe darse a los vertedores de las grandes presas, en este caso la determinación de la avenida de diseño es más compleja ya que la magnitud de ella influirá en la capacidad de la obra de excedencias, la altura de la cortina y el volumen

de regulación del vaso. Sin embargo, el factor económico juega un papel muy importante en la decisión final, ya que también con el aprovechamiento se van a satisfacer otras demandas como son: el abastecimiento de agua potable, el agua para riego, generación de energía, etcétera; sin olvidar el grado de protección, que se va a dar aguas abajo, tanto en vidas humanas como en propiedades, todo esto implica un beneficio económico.

Para presas de almacenamiento, la CONAGUA, recomienda los períodos de retorno al depender del tamaño (altura y capacidad de almacenamiento), pérdida de vidas humanas y daños materiales ([ver tabla 4](#)).

### Funciones de Distribución de Probabilidad (FDP)

Para pronosticar las lluvias, los gastos o volúmenes de diseño de las obras hidráulicas asociados a cierto período de retorno o frecuencia de recurrencia, se emplean métodos estadísticos. Para su aplicación se requiere de datos o registros de máximos anuales, con lo que se logra mayor precisión a medida que se cuente con más años de registro.

Los métodos para evaluar los eventos de diseño a partir de un periodo de retorno, consideran que el gasto o lluvia máximo anual son variables aleatorias que se distribuyen de acuerdo a una función de probabilidad.

Es común que se cuente con pocos años de registro, o menor al requerido para diseño, por lo que las curvas de distribución de probabilidad se tienen que extender

Categoría	Almacenamiento (Mm <sup>3</sup> )	Altura (M)	Pérdida de vidas	Daños materiales	T <sub>r</sub> (Años)
Pequeña	< 1.5	< 15	Ninguna Moderada Considerable	< Costo de la presa ~ Costo de la presa > Costo de la presa	500 1000 10000
Mediana	Entre 1.5 y 60	Entre 12 y 30	Ninguna Moderada Considerable	= Capacidad financiera > Capacidad financiera >>Capacidad financiera	1000 a 10000 10000 ≥ 10000**
Mayor (no se tolera falla)	> 60	> 18	Considerable	>Capacidad financiera	≥ 10000**

\*\*NOTA: Para las presas cuya cuenca se encuentra protegida del ingreso directo de huracanes se recomienda utilizar la avenida de 10,000 años de periodo de retorno estimada utilizando métodos estadísticos; en caso contrario es necesario estimar la avenida máxima probable.

en sus extremos a fin de inferir eventos mayores o menores a los registrados.

Las funciones de distribución de probabilidad recomendadas en hidrología son las siguientes:

### Distribución de probabilidad Lognormal de dos parámetros

Su expresión matemática se expresa como:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} dx$$

donde:

- $\mu_y$ : parámetro de ubicación
- $\sigma_y$ : parámetro de escala

### Distribución de probabilidad Lognormal de tres parámetros

Su expresión matemática se presenta a continuación:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{(x-x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0) - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} dx$$

donde:

- $x_0$ : parámetro de ubicación
- $\mu_y$ : parámetro de escala
- $\sigma_y$ : parámetro de forma

### Distribución de probabilidad Gamma de dos parámetros

Se expresa como:

$$F(x) = \int_0^x \frac{x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{\alpha}}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} dx$$

donde:

- $\alpha$ : parámetro de escala
- $\sigma_y$ : parámetro de forma
- $\Gamma(\beta)$ : función Gamma completa

### Distribución de probabilidad Gamma de tres parámetros

Esta FDP también es conocida como Pearson Tipo III, la que se expresa como:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)} dx$$

donde:

- $\alpha$ : parámetro de escala
- $\beta$ : parámetro de forma
- $x_0$ : parámetro ubicación
- $\Gamma(\cdot)$ : función gamma

### Distribución de probabilidad Log-Pearson Tipo III

Su definición matemática se presenta como:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left(\frac{\ln x - y_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{\ln x - y_0}{\alpha}\right)} dx$$

donde:

- $\alpha$ : parámetro de escala
- $\beta$ : parámetro de forma
- $x_0$ : parámetro de ubicación
- $\Gamma(\cdot)$ : función gamma

### Distribución de probabilidad Gumbel

Este modelo se define como:

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\left[\frac{x-\mu}{\alpha}\right]\right)\right]$$

donde:

- $u$ : parámetro de ubicación
- $\alpha$ : parámetro de escala

### Distribución de probabilidad General de Valores Extremos (GVE)

Este modelo se define como:

$$F(x) = e^{\left\{-\left[1 - \left(\frac{x-u}{\alpha}\right)^\beta\right]^{\frac{1}{\beta}}\right\}}$$

donde:

- $\alpha$ : parámetro de escala
- $\beta$ : parámetro de forma
- $u$ : parámetro de ubicación

## Distribución de probabilidad Gumbel Mixta o Mezclada

Su expresión se presenta como:

$$F(x) = p e^{-e^{-\left(\frac{x-u_1}{\alpha_1}\right)}} + (1-p) e^{-e^{-\left(\frac{x-u_2}{\alpha_2}\right)}}$$

donde:

- $u_1$  y  $\alpha_1$  son los parámetros de ubicación y escala correspondientes a la población no ciclónica
- $u_2$  y  $\alpha_2$  son los parámetros de ubicación y escala correspondientes a la población ciclónica
- $p$  parámetro que depende de la proporción de las poblaciones

### Criterio de selección de la FDP

Uno de los criterios mejor adoptados de selección para el tipo de distribución de valores extremos, del mejor ajuste a la muestra de datos, es el del error estándar (Kite, 1988), que se expresa como:

$$EE_j = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{N - m_j} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

donde:

- $x_i$ : son los valores históricos, para  $i = 1, \dots, N$
- $y_i$ : son los valores calculados, para  $i = 1, \dots, N$
- $N$ : es el tamaño de la muestra
- $m_j$ : es el número de parámetros del modelo matemático

## Análisis de lluvias

La precipitación se presenta en forma de lluvia, nieve, granizo, entre otros; en nuestro medio por su magnitud y frecuencia la más importante es la primera de ellas, aunque hay algunas zonas del norte del país donde la fusión de la nieve puede ocasionar avenidas importantes.

En el análisis hidrológico las características fundamentales de la precipitación son las siguientes:

### Altura de la precipitación

Es la cantidad de agua que se precipita durante una tormenta en determinado tiempo. Sus unidades son de lon-

gitud, generalmente se expresa en mm. También se le conoce como lámina de lluvia.

### Intensidad de la precipitación

Es la cantidad de agua que se precipita en un determinado tiempo, se expresa en mm/h.

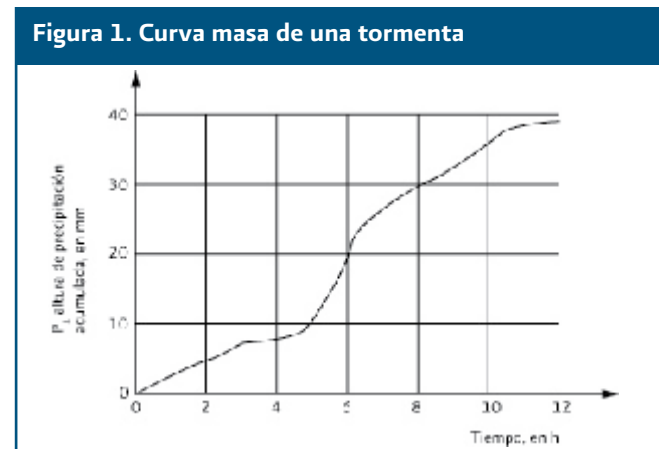
### Duración

Es el intervalo de tiempo en que ocurre la precipitación, se expresa en h.

Para conocer la precipitación representativa sobre una cuenca, primero se requiere llevar a cabo un análisis de los datos registrados en cada una de las estaciones de la cuenca. Este análisis consta principalmente de los conceptos siguientes

#### a) Curva masa

La curva masa es una relación entre la altura de precipitación acumulada a través del tiempo, desde el inicio de la tormenta hasta su terminación. Se obtiene del registro del pluviógrafo. En la [figura 1](#) se muestra la curva masa de una tormenta.



Cualquier tangente a la curva masa representa la intensidad de la lluvia,  $i$ , para ese instante, es decir:

$$i : \Delta p / \Delta t$$

donde:

$i$ : intensidad de la lluvia, en mm/h

$\Delta p$ : incremento de lluvia en el intervalo  $\Delta t$ , en mm

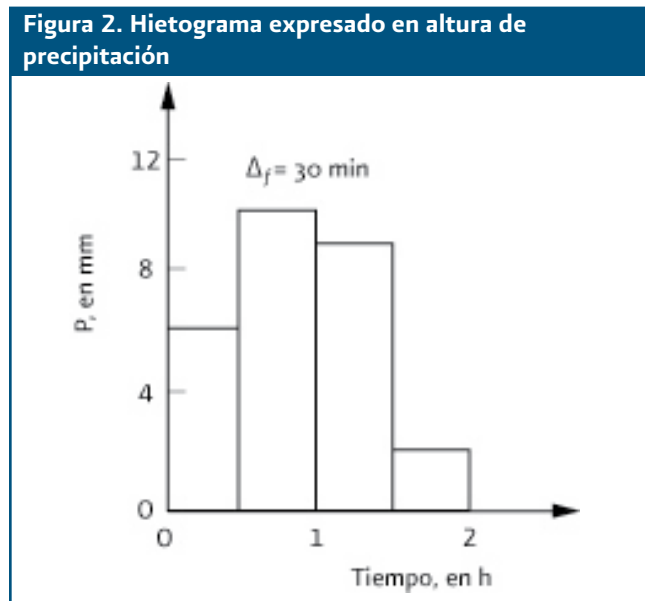
$\Delta t$ : incremento del tiempo, en h

Para cada duración existe un valor de intensidad máxima que se calcula de la forma siguiente:

1. Se selecciona una duración de interés, "d".
2. Con los valores de la curva masa se calculan las diferencias de precipitación,  $\Delta p$ , correspondientes a todas las parejas de puntos separados entre si un tiempo igual a "d", la separación no es continua.
3. Se encuentra la diferencia máxima,  $\Delta p_{\max}$ , y se divide entre el intervalo de tiempo para obtener la intensidad máxima correspondiente a dicho intervalo.

### b) Hietograma

Es una gráfica que muestra la variación de las alturas o intensidades de la precipitación para un incremento de tiempo. Generalmente es una representación de barras verticales cuya altura es igual a la intensidad o altura de precipitación que corresponde a un intervalo de tiempo constante, ver figura 2.



El hietograma se obtiene de la curva masa mediante los pasos siguientes:

1. Se consideran en la curva masa intervalos de tiempo constantes.
2. Se obtiene la altura de precipitación al inicio y al final de cada intervalo de tiempo.
3. Se calculan las diferencias entre los valores de altura de precipitación para cada intervalo.

4. Se dibujan los valores obtenidos en el paso 3, ver figura 2.

También se puede expresar el histograma en términos de la intensidad de lluvia en lugar de la altura, para ello se divide cada uno de los valores obtenidos en el paso 4 entre el intervalo de tiempo.

### c) Precipitación media

Para conocer la precipitación media de una tormenta en toda la cuenca, se requiere de mediciones en varias estaciones localizadas tanto dentro de ella como en su vecindad. Una estación se considera vecina siempre y cuando su distancia al parteaguas sea pequeña, se recomienda que esta no exceda de 5 km, o bien se usa un criterio basado en correlaciones cruzadas de los datos de precipitación de varias estaciones (Dominguez, 1976) para definir la vecindad.

Existen tres procedimientos para determinar esta precipitación, los cuales se mencionan a continuación:

- Procedimiento aritmético
- Método de Thiessen
- Método de isoyetas

De los tres procedimientos, el último es el mejor, ya que toma en cuenta la distribución espacial de la lluvia en la cuenca, sin embargo, es complicada su sistematización, por lo que es aplicado ampliamente el método de Thiessen.

### d) Hietograma de altura de precipitación media

Para conocer la variación de la altura de precipitación media con el tiempo, se emplea el hietograma de precipitación media. Este diagrama se puede obtener a partir de los hietogramas de las estaciones de la cuenca y de su vecindad.

Los hietogramas deben tener el mismo intervalo de tiempo. Al considerar el mismo lapso de tiempo en todos los hietogramas se define la altura de precipitación en cada estación y se aplica cualquiera de los métodos del inciso c, con lo que se obtiene la altura de precipitación media para ese lapso de tiempo del histograma buscado. Después de repetir el proceso para cada una de las demás barras de los hietogramas de las estaciones se llega al hietograma de alturas de precipitación media.

## Curvas características de la precipitación

Las características de la precipitación son distintas en cada cuenca. De aquí que los datos de precipitación registrados en diferentes zonas solamente ofrezcan una aproximación adecuada de la precipitación en la región inmediata donde se realizó la medición.

Para fines de diseño, los datos obtenidos de la precipitación pueden agruparse en curvas que representen las características de ésta para la zona. Estas curvas son la de intensidad-duración-periodo de retorno:

- (i-d-T) y la de altura de precipitación-área-duración
- (hp-A-d), cuya aplicación es función del tamaño de la cuenca

Según Chow (1964) una cuenca pequeña es aquella que es sensible a lluvias de alta intensidad y corta duración, es decir, que predominan las características fisiográficas de la cuenca sobre las del cauce.

Chow fija como límite para considerar una cuenca pequeña aquella que sea menor a 25 km<sup>2</sup>; sin embargo, I-Pai-Wu y Springall la limitan a 250 km<sup>2</sup>. Para cuencas grandes el efecto de almacenamiento en el cauce es muy importante, por lo cual deberá darse mayor atención a las características de éste.

Para fines prácticos se propone usar la clasificación de tamaño de cuenca mostrada en la [tabla 5](#).

Tamaño de la cuenca en km <sup>2</sup>	Descripción
< 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia-pequeña
500 a 2500	Intermedia-grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

### a) Curvas intensidad-duración-periodo de retorno (i-d-T)

Para conocer la variación de la intensidad y la duración de la precipitación en relación con su frecuencia de incidencia se hacen análisis de los datos registrados en una estación.

La intensidad y duración se obtienen a partir de los registros del pluviógrafo. Su aplicación abarca un área menor de 25 km<sup>2</sup>, por tanto puede considerarse que los valores que se pronostican con estas curvas son puntuales. La intensidad corresponde a su valor máximo en un cierto tiempo.

### b) Curvas de altura de precipitación-área-duración (hp-A-d)

Para conocer la altura de precipitación asignada a una cierta duración en una cuenca de determinada área, se utilizan las curvas hp-A-d. Estas resultan del análisis del conjunto de datos de un grupo de estaciones. Con estas curvas se intenta representar la variación de la altura de lluvia con respecto al área para diferentes duraciones. El análisis se debe hacer para las tormentas más desfavorables, ver Franco y Domínguez (1981).

En cuencas pequeñas se recomienda obtener estas curvas para duraciones de 15, 30, 45, 60, 90 y 120 min; y; para cuencas grandes, duraciones de 6, 12, 18 y 24 h. En el cálculo de estas curvas se usan los resultados de la aplicación de los métodos de isoyetas y polígonos de Thiessen.

### c) Curvas de altura de precipitación máxima en 24 h - periodo de retorno

En este caso el análisis de los datos de lluvia se hace a partir de los registros de pluviométricos o, si no se cuenta con éstos, se realiza con la lectura de 24 horas de los pluviógrafos, ya que se usan alturas de lluvia correspondientes a una duración de 24 h. Estas curvas relacionan para la duración de 24 h su altura de lluvia con el periodo de retorno. Para conocer estas curvas se requiere calcular para las alturas máximas anuales su periodo de retorno y luego ajustarle una función de distribución de probabilidad.

### d) Precipitación máxima probable (PMP)

Este concepto se refiere a la condición más desfavorable de lluvia y con la característica de que no se le puede asignar ningún periodo de retorno. La PMP se define como la máxima cantidad de lluvia, durante cualquier época del año, que resulta de la combinación de las condiciones meteorológicas más críticas que posiblemente pueden ocurrir para una determinada área. Lo que se menciona a continuación es aplicable a cuencas con área menor a 50,000 km<sup>2</sup>.

La PMP se puede valorar con cuatro diferentes procedimientos: el primero consiste en utilizar modelos de tormenta como es, por ejemplo, el caso del modelo del plano inclinado, ver Wiesner (1970); en el segundo se hace la transposición y maximización de tormentas usando para ello curvas de altura de precipitación-área-duración y factores de ajuste por humedad y presencia de barreras, ver Domínguez y Lozoya (1983); el tercer método usa un mapa de isoyetas, los valores empleados para dibujarlo se obtienen aplicando cualquiera de los dos criterios mencionados, y es aplicable para cuencas menores de 10,000 km<sup>2</sup>, ver Springall (1978); y el último, llamado estadístico, propuesto por Hershfield (1961, 1965), consiste en analizar los valores de lluvia registrados en un pluviómetro.

## Duración de la tormenta

En cuencas pequeñas o en el diseño de estructuras menores, se recomienda usar duraciones menores o iguales a 6 h, sin embargo, también se suele considerar que la duración sea igual al tiempo de concentración.

El tiempo de concentración  $T_c$  se define como el tiempo que tarda una partícula de agua en viajar desde un punto dado de la cuenca hasta la salida de la misma. Para calcular este tiempo se usan relaciones empíricas, en ellas intervienen características fisiográficas de la cuenca, siendo una de las más utilizadas la propuesta por Kirpich (1940), la cual se define como:

$$T_c = 0.0003245 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

donde:

- $T_c$ , está en h;
- L, longitud del cauce principal, en m;
- S, pendiente media del cauce principal, adimensional

Se recomienda calcular la pendiente media del cauce mediante la fórmula de Taylor-Schwarz (Springall, abril 1970).

## Lluvia en exceso

La parte de precipitación que queda atrapada en la vegetación, más la interceptada en la superficie del suelo y la que se infiltra se conoce como “pérdida de la

precipitación”. Ante la dificultad de valorar por separado cada uno de los conceptos anteriores y por ser el tercero de ellos el más grande se considera que los tres corresponden a la infiltración.

A la altura de precipitación que resulta de restar a la total la debida a las pérdidas se le conoce como altura de precipitación en exceso o efectiva y es la que da origen al escurrimiento directo.

El volumen de pérdidas se evalúa al restar al volumen total de lluvia menos el del escurrimiento directo, es decir:

$$V_p = V_{LL} - V_{ED}$$

donde:

- $V_p$ : volumen de perdidas, en m<sup>3</sup>
- $V_{LL}$ : volumen total de lluvia, en m<sup>3</sup>
- $V_{ED}$ : volumen de escurrimiento directo, en m<sup>3</sup>

El volumen total de lluvia se obtiene al multiplicar la altura de precipitación media por el área de la cuenca. Tal altura de precipitación corresponde a la suma de las ordenadas del hietograma de precipitaciones medias en la cuenca.

El volumen de escurrimiento directo es igual al producto del área de la cuenca por la lluvia en exceso o también es igual al área del hidrograma de escurrimiento directo. Los criterios mas usados para calcular las pérdidas son:

- Coeficiente de escurrimiento
- Índice de infiltración media
- Número de escurrimiento

## Análisis del escurrimiento

### Componentes del escurrimiento en una cuenca

El escurrimiento de una cuenca lo constituyen tres componentes, los cuales pueden, en un determinado momento, ocurrir en forma separada o simultáneamente variando su magnitud. Estos componentes son ilustradas en la figura 3 como:

- Escurrimiento superficial,
- Escurrimiento subsuperficial, y
- Escurrimiento base o escurrimiento subterráneo.

Algunos de los factores más importantes que influyen en escurrimiento son: la topografía, el tipo y uso



del suelo, el área y pendiente de la cuenca; así como, las condiciones de humedad del suelo que anteceden a la precipitación.

El escurrimiento superficial, como su nombre lo indica, viaja sobre la superficie del terreno y a través de los cauces hacia la salida de la cuenca. Como es ilustrado por la figura, el viaje es del punto 1 al punto 2. El escurrimiento superficial se compone de 1. Flujo en la superficie del terreno, y 2. Escurrimiento en corrientes.

El escurrimiento superficial comúnmente ocurre cuando la intensidad de la lluvia excede la demanda inicial de interceptación, infiltración y almacenamiento por las depresiones del terreno. Este escurrimiento varía durante la tormenta y puede cesar durante su ocurrencia o súbitamente después de que ha cesado la tormenta. Al fluir el escurrimiento superficial hacia la salida de la cuenca, una parte de este se infiltra hacia el suelo o por las paredes del cauce; la infiltración que toma lugar en los cauces a menudo se refieren como pérdidas por conducción. Esta situación es particularmente común en zonas de clima árido, semiárido o subhúmedo.

Adicionalmente, las pérdidas por conducción algunas veces son tan grandes que por sí mismas eliminan el escurrimiento superficial. Como se muestra en la figura, la distancia transitada del punto 3 al 4 depende de:

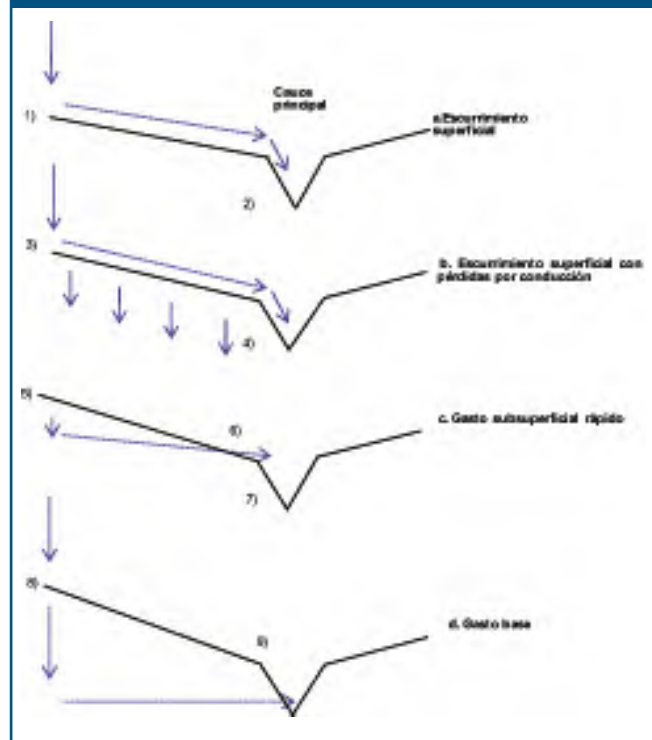
- a) La cantidad de escurrimiento superficial,
- b) Las características de humedad del suelo, y
- c) La fisiografía de la cuenca.

El escurrimiento subsuperficial representa la porción de la lluvia infiltrada que escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralela a él hasta alcanzar el escurrimiento en corriente.

Como se muestra en la figura 3, el agua infiltrada en el punto 5 eventualmente retorna a la superficie en el punto 6, continuando como escurrimiento superficial en el punto 7. Este escurre más lento que el escurrimiento superficial y puede unirse al escurrimiento superficial durante o después de la tormenta. La parte del escurrimiento que ocurre como escurrimiento subsuperficial depende de las características geológicas de la cuenca y de las propiedades en el tiempo y en el espacio de la lluvia. Este escurrimiento se encuentra comúnmente en climas húmedos y cuencas con alta capacidad de infiltración y laderas de moderadas a escarpadas.

El escurrimiento base es aquella parte del agua infiltrada que alcanza el agua subterránea y que descarga en la corriente. Como se muestra en la figura 3, el agua que entra en el punto 8 va directamente al agua subterránea y después eventualmente descarga a una corriente en el punto 9. Este tipo de flujo escurre mucho más lento y tiene poco efecto en las avenidas máximas en cuencas pequeñas. La respuesta del flujo base varía ampliamente de un cuerpo de agua subterráneo a otro, al depender de la permeabilidad del suelo.

Figura 3. Componentes del escurrimiento



Estos componentes del escurrimiento no aparecen regularmente en una cuenca. Por ejemplo en zonas áridas el escurrimiento en cuencas pequeñas es casi siempre escurrimiento superficial. En zonas húmedas el escurrimiento subsuperficial es predominante. Sin embargo, a lo largo de sucesivas tormentas puede producirse escurrimiento subsuperficial y también escurrimiento base en zonas áridas. Por lo tanto, el tipo de escurrimiento que ocurre en una cuenca es determinado por una combinación de factores climáticos y fisiográficos, en conjunto con las características espaciales y temporales de la lluvia.

Aunque estos componentes de escurrimiento se originan de diferentes fuentes o tienen diferentes rutas de escurrimiento, la distinción entre ellos resulta esencialmente arbitraria. En el curso de su trayectoria, estos componentes tienen rutas mezcladas y cambian de forma. Por ejemplo, el escurrimiento subsuperficial puede ser superficial durante parte de su trayectoria y aparecer como escurrimiento superficial. Lo contrario es igualmente probable.

Similarmente, y dependiendo de las formaciones geológicas, el escurrimiento base y el subsuperficial pueden compartir algunas de las características. Por lo que, en la práctica es muy difícil separar estas componentes con exactitud. Esto explica parcialmente la acostumbrada división del escurrimiento en: 1. Directo y 2. Flujo base. Se considera que el escurrimiento directo está formado por escurrimiento superficial y el así llamado flujo subsuperficial rápido, mientras que el escurrimiento base consiste de escurrimiento subsuperficial retardado y escurrimiento subterráneo. En la literatura hidrológica los términos escurrimiento directo, escurrimiento de tormenta y escurrimiento superficial se emplean libremente en forma indistinta. Lo anterior también ocurre para los términos escurrimiento subterráneo, escurrimiento base y gasto base. Se observa que, esta última división del escurrimiento en dos componentes, está basada en el tiempo de trayecto en lugar de la ruta de trayecto (Singh, V. P., 1988).

### Estimación del escurrimiento

Con bastante frecuencia, los embalses que se diseñan para dotar de riego a pequeñas áreas, quedan lógicamente localizados en arroyos o corrientes de reducida importancia, comúnmente no aforadas y entonces surge la necesidad de inferir o estimar el régimen hidrológico de dicha corriente.

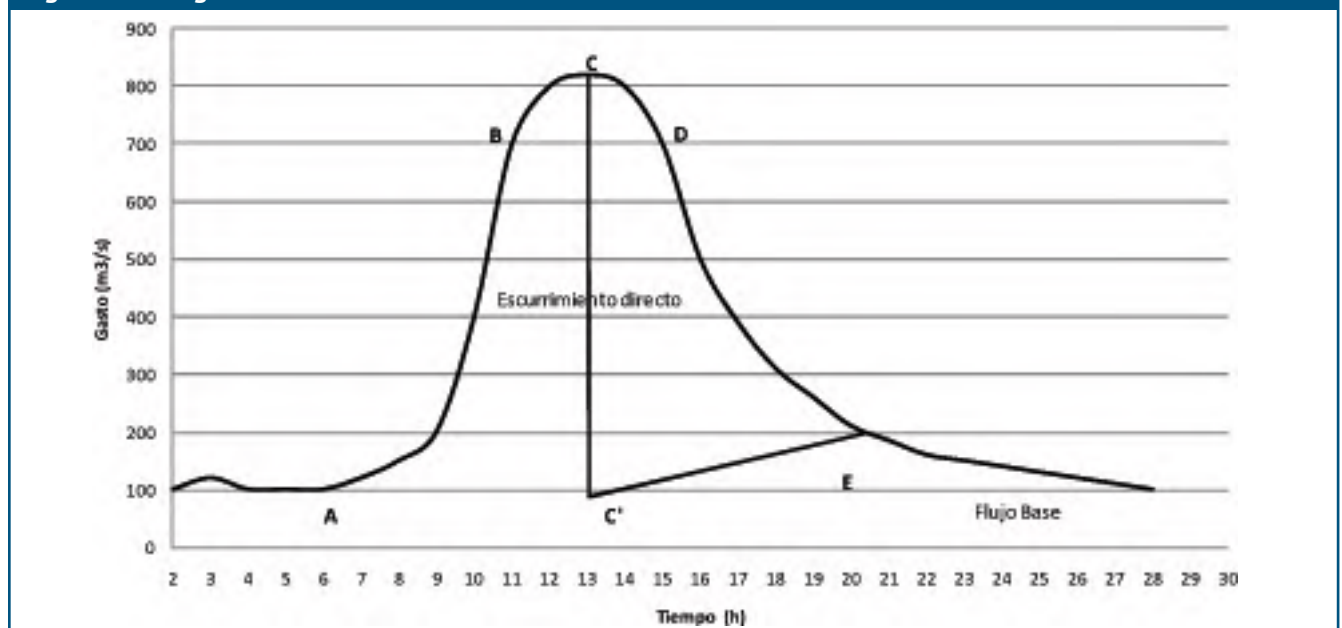
Por otra parte, la información hidrométrica que es requerida para el diseño hidrológico de pequeñas presas de almacenamiento, se puede reducir a los volúmenes escurridos mensuales, siendo lo más viable, realizar estimaciones del escurrimiento a nivel anual y luego a partir de tales valores inferir los volúmenes mensuales.

### Clasificación de los métodos

Los diversos criterios disponibles actualmente para estimar los volúmenes escurridos anuales de una corriente, se clasifican en dos grandes grupos:

- Métodos que se basan en el transporte de información hidrométrica de una estación de aforos cercana, estos criterios también se conocen como Métodos de Similitud de Cuencas o de Analogía Hidrológica.
- Métodos que se basan en la información climatológica disponible, principalmente en valores anuales de lluvia y temperatura media.

Figura 4. Hidrograma de escurrimiento



**Cuadro 1. Clasificación de los métodos de estimación del escurrimiento anual y mensual**



En el [cuadro 1](#) se presentan algunos métodos, de acuerdo con la clasificación anterior.

Recientemente, se han desarrollado otros métodos que se basan en la información hidrométrica de la zona y que permiten generar estocásticamente secuencias del escurrimiento anual y mensual, en el punto de interés de la cuenca no aforada.

### Hidrogramas

El hidrograma es una representación gráfica del gasto que pasa por una sección particular de un río, como función del tiempo. En la [figura 4](#) se muestra un hidrograma típico correspondiente a valores instantáneos de gasto de una avenida aislada.

En el diseño de las obras hidráulicas sobre una corriente se considera tanto al volumen de agua por desalojar como al gasto más grande del hidrograma.

Para la obtención del gasto máximo se puede realizar un análisis estadístico de los gastos que se han presentado en el sitio de interés.

### Separación del escurrimiento base y directo

Antes de indicar el procedimiento aplicado para la separación del volumen del escurrimiento directo de cada

hidrograma máximo anual, conviene explicar algunos conceptos importantes.

El análisis de un hidrograma como el mostrado en la [figura 4](#), se realiza fundamentalmente para encontrar su relación con la tormenta que la produce. En este sentido, lo primero que se requiere es separar el escurrimiento directo; es decir, el que proviene directamente de la tormenta, del escurrimiento base producto del flujo del agua subterráneo.

Aunque la forma de los hidrogramas producidos por tormentas particulares varían no sólo de una cuenca a otra sino también de tormenta a tormenta, es posible, en general, distinguir los siguientes puntos, con los cuales se definen algunos conceptos útiles para particularizar una avenida y relacionarlos con las características de la precipitación y de la cuenca en estudio. Los puntos marcados son ([figura 4](#)):

- a) **Punto de levantamiento.** Es el punto en el que se inicia el escurrimiento directo. En este punto, el agua proveniente de la tormenta bajo análisis comienza a llegar a la salida de la cuenca y se produce inmediatamente después de iniciada la tormenta, durante la misma o incluso cuando ha transcurrido ya algún tiempo después de que ha cesado de llover, dependiendo de varios factores, entre los que se pueden mencionar el tamaño de la cuenca, sus sistema de drenaje y suelo, la intensidad y duración de la lluvia, entre otros.
- b) **Punto de inflexión anterior al gasto máximo.** Es donde se considera concluye la rama ascendente del hidrograma.
- c) **Punto de gasto máximo o gasto pico.** Es el gasto máximo que se produce por la tormenta. Con frecuencia es el punto más importante de un hidrograma para fines de diseño.
- d) **Punto de inflexión posterior al gasto máximo.** En este punto, es aproximadamente cuando termina el flujo sobre el terreno, y, de aquí en adelante, lo que queda de agua en la cuenca escurre por los canales y como escurrimiento subterráneo.
- e) **Punto en el que termina el escurrimiento directo.** A partir de aquí el escurrimiento es sólo de origen subterráneo. Se acepta normalmente como el punto de mayor curvatura de la curva de recesión, aunque pocas veces se distingue fácilmente.

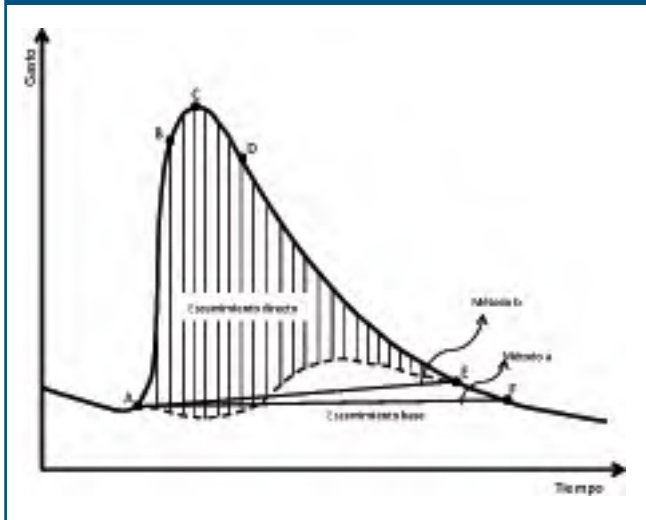
Con base en los puntos anteriores se definen las siguientes características del hidrograma:

- **Tiempo base.** Es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento **A**, hasta el punto final del escurrimiento directo **E**. Es el tiempo que dura el escurrimiento directo.
- **Tiempo de pico.** El tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento **A**, hasta el pico del hidrograma **C**.
- **Tiempo de retraso.** Es el tiempo entre el centroide del hietograma de lluvia en exceso y el pico del hidrograma **C**.
- **Curva de concentración.** Es la parte del hidrograma que va desde el punto de levantamiento **A**, hasta el pico **C**.
- **Curva de recesión del escurrimiento superficial.** Es la parte del hidrograma que va desde el pico **C**, hasta el final del escurrimiento directo **E**. Tomada a partir del punto de inflexión, es la curva de vaciado de la cuenca.

Para separar el escurrimiento directo o el base del total se emplea varios métodos, entre los más empleados están los siguientes:

- Se dibuja una recta horizontal que parte del punto de inflexión que muestra el inicio del escurrimiento directo (punto **A** de la [figura 5](#)) hasta que corte a la curva de recesión del hidrograma, punto **F** de la [figura 5](#).
- Recta inclinada. La frontera se define trazando una recta entre los puntos **A** y **E** de la [figura 5](#).

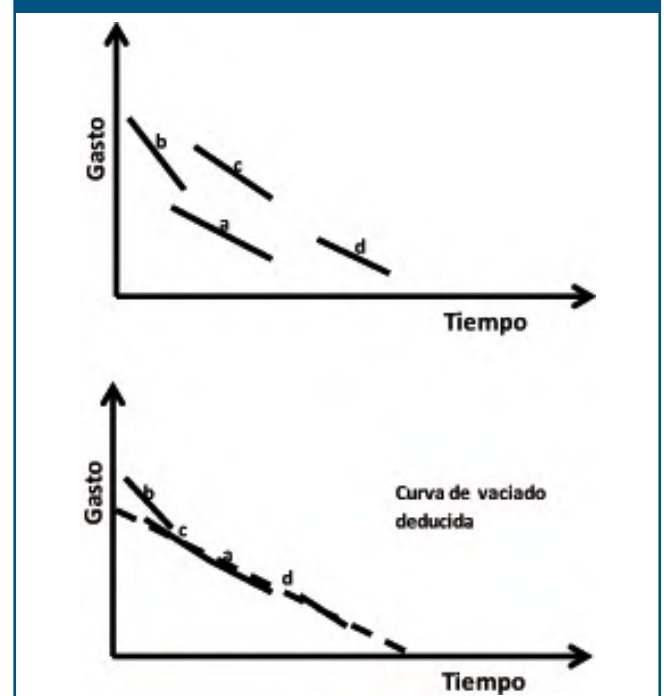
**Figura 5. Separación del escurrimiento base del directo**



Para encontrar el punto **E** se requiere de la curva de vaciado del Escurrimiento base. Para obtener esta curva

se analizan una serie de hidrogramas en los tramos en los que sólo existe escurrimiento base; los tramos considerados se dibujan en papel semilogarítmico representando en el eje aritmético al tiempo y en logarítmico al gasto. Una vez dibujados se desplazan horizontalmente tratando de definir una sola curva ([ver figura 6](#)). Si en alguno de los tramos seleccionados tiene parte de escurrimiento directo, o bien, si se observa en la gráfica que tiene un pendiente muy distinta debe ser excluido, observe por ejemplo, la curva de la [figura 6](#).

**Figura 6. Curva de vaciado de diferentes hidrogramas**



La curva de vaciado deducida se superpone en el hidrograma en el que se desea separar las dos clases de escurrimiento tratando de hacerla coincidir en el extremo derecho. Aquel punto en donde la curva se separe del hidrograma resulta ser el punto **E** de interés, [ver figura 7](#). Existe otro criterio para definir el punto **E**, el cual se resume en los pasos siguientes:

- Se dibuja una línea horizontal a partir del inicio del escurrimiento directo, punto **A** de la [figura 7](#), hasta la proyección que corresponde al gasto máximo y se designa este punto como **C'**.
- Al aprovechar los intentos de correlacionar el tiempo de vaciado del escurrimiento directo con algunas características de las cuencas, el método que ha tenido

mejores resultados es el que relaciona dicho tiempo con el área de la cuenca. Una relación muy utilizada es la siguiente (Campos, 1992; Aparicio, 1997):

$$t_v = 0.827 A^{0.2}$$

donde:

- $t_v$  = tiempo de vaciado del escurrimiento directo, en días
- $A$  = área de la cuenca en  $\text{km}^2$ .
- Tomando a **C'** como referencia se toma una distancia horizontal igual a **M** y se levanta una vertical hasta cortar el hidrograma, el punto de cruce define el punto **E**.
- Se dibuja una recta entre **C'** y **E**, de esta manera se define la separación entre el escurrimiento directo y el base.

La selección del método de separación de escurrimientos depende de consideraciones subjetivas, del número de hidrogramas por analizar, de los datos disponibles, etcétera. Afortunadamente, en forma general, se puede decir que el escurrimiento base no es muy significativo en las tormentas más intensas que son las que rigen el diseño con lo cual es indistinto usar cualquier método de separación de escurrimientos.

## Modelos para cuencas no aforadas

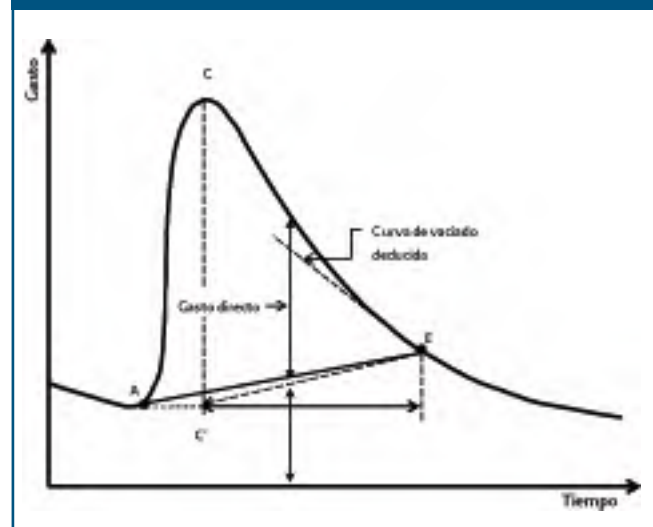
Para conocer el gasto de diseño de operación de las obras hidráulicas se requiere de datos de escurrimiento en el lugar donde ellas estén localizadas; sin embargo, en ocasiones no se cuenta con esta información o bien, por cambios en las condiciones de drenaje de la cuenca como es, por ejemplo, la deforestación, la urbanización, entre otros; pueden hacer que los datos de gastos recabados antes de esos cambios no sean útiles.

Por otra parte, debido a que es más complicado obtener datos de escurrimiento de las corrientes que de precipitación, debido a que no existen en la zona en estudio estaciones hidrométricas y se cuenta con mayor cantidad de información de lluvias. Por estas razones se han propuesto metodologías para inferir escurrimientos a partir de la precipitación que los origina, aplicables a cuencas no aforadas.

A los procedimientos indirectos se les conoce como modelos lluvia-escurrimiento. Para su estudio se les

puede clasificar, de acuerdo con la información que requieren para su aplicación, de la manera siguiente:

**Figura 7. Separación del escurrimiento directo y base utilizando la curva de vaciado**



## Empíricos

Son de dos tipos, en uno se necesita para su aplicación únicamente de las características fisiográficas de la cuenca donde esta la corriente de interés y en el otro, además de las características, se usan datos de precipitación.

## Hidrograma unitario

Se debe contar por lo menos con un registro simultáneo de la precipitación y del escurrimiento que ésta produjo.

## Simulación del escurrimiento de la cuenca

Se necesita conocer las características detalladas de la cuenca y de datos hidrológicos simultáneos en toda ella. Para usarlos se requiere de gran cantidad de información y de modelos matemáticos complicados para la simulación.

## Métodos empíricos

A partir de relaciones de precipitación-escurrimiento conocidas en algunas cuencas se han propuesto ecuaciones que hacen intervenir algunas de las características fisiográficas de la cuenca, así como información sobre el uso del suelo, sus condiciones, pendiente del terreno, longitud o pendiente del cauce principal y la intensidad o

altura de precipitación total que provocó el gasto máximo. Estos métodos solo proporcionan el gasto pico.

### a) Método de envolventes

Uno de los métodos más conocidos es el que desarrolló Creager, quien asoció los gastos más grandes observados en el mundo respecto al área de la cuenca donde se presentaron, ver figura 8. Al trazar una línea que envuelve a todos los gastos máximos se obtuvo una curva cuya ecuación esta dada por:

$$Q_p = 1.303C (0.386A)^\beta$$

donde:

$$\alpha = \frac{0.936}{A^{0.048}}$$

- $Q_p$ : gasto pico, en  $m^3/s$
- $A$ : área de la cuenca, en  $km^2$
- $C$ : Constante

Los valores de la constante  $C$  son conocidos como valores de la envolvente. El valor mundial de  $C$  es igual a 100. La extinta SARH evaluó este coeficiente para cada una de las regiones hidrológicas en que esta dividida la República Mexicana.

### b) Fórmula racional

Casi todos los métodos empíricos se derivan del método racional, el cual aparece citado en la literatura americana en 1889 por Kuichling, pero otros autores dicen que los principios básicos de este método están explícitos en el trabajo desarrollado por Mulvaney en Irlanda en 1851. Se expresa con la ecuación:

$$Q = 0.278 Ci A$$

donde:

- $Q$ : gasto pico, en  $m^3/s$
- $C$ : coeficiente de escurrimiento, adimensional
- $i$ : intensidad de diseño, para una duración generalmente igual al tiempo de concentración, en  $mm/h$
- $A$ : área de la cuenca, en  $km^2$

El valor del coeficiente de escurrimiento  $C$ , depende del tipo de área de drenaje, el uso del suelo, entre otros.

La intensidad de lluvia se determina de las curvas intensidad-duración-período de retorno. La selección del valor de  $i$  se fundamenta en la estimación de la frecuencia de ocurrencia de ella y de la duración.

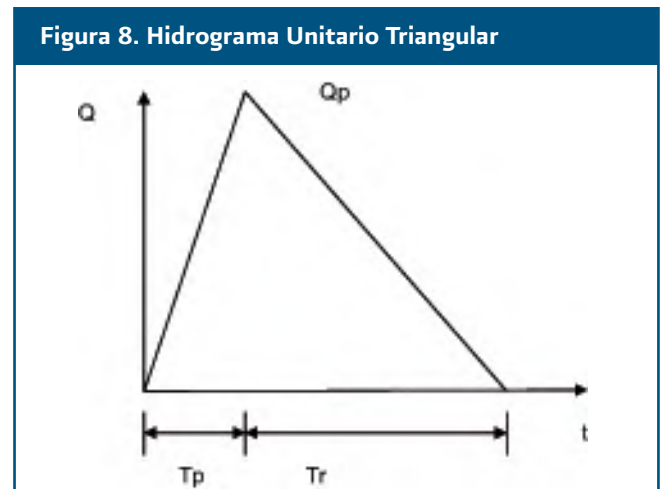
Una de las hipótesis básicas de este método es que la tormenta tiene una duración suficientemente grande para permitir que cualquier gota de agua llegue hasta la salida de la misma. La mínima duración para la intensidad de lluvia seleccionada será igual al tiempo de concentración.

### Hidrograma Unitario Sintético

Cuando no se dispone de registros simultáneos de precipitación y escurrimiento se puede estimar un hidrograma unitario para la cuenca en estudio conociendo las características físicas de ella. Para ello se emplea un hidrograma unitario obtenido en otro lugar, casi siempre referido a ciertos parámetros del lugar en donde fue calibrado, a este tipo de hidrogramas se les llama sintéticos. A continuación se describen los de uso común en nuestro medio.

### Hidrograma Unitario Triangular (HUT)

En este procedimiento se requiere conocer las características fisiográficas de la cuenca. Se ha desarrollado para cuencas pequeñas y su forma es triangular (figura 8).



El gasto pico se estima con la ecuación:

$$Q_p = 0.566 \frac{hpe}{n} \frac{A}{T_p}$$



donde:

- $T_p = \frac{T_c}{2} + 0.6T_c$  ; para cuencas pequeñas
- $T_p = \sqrt{T_c} + 0.6T_c$  ; para cuencas grandes
- $n = 2 + \frac{A - 250}{1583.3}$  ; para cuencas donde:
- $A \leq 250 \text{ km}^2$  entonces  $n = 2.0$

$h_{pe}$ , lámina de lluvia efectiva, en mm:

- $A$ , área de la cuenca en  $\text{km}^2$
- $T_c$ , tiempo de concentración, en h
- $T_p$ , tiempo pico, en h
- $T_r$ , Tiempo de retraso, en h
- $T_b$ , tiempo base, en h
- $n$ , factor de corrección por área

El hidrograma de escurrimiento directo se calcula al multiplicar cada una de las ordenadas del HUT por la lluvia efectiva,  $h_{pe}$ , expresada en mm.

### Estimación de la lluvia efectiva

Para la determinación de los eventos de diseño se considera que la tormenta de diseño tiene una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca; al utilizar la fórmula propuesta por el US Soil Conservation Service (1957), se obtiene la lámina de lluvia en exceso. La fórmula propuesta por el SCS para la lámina de lluvia en exceso tiene la forma siguiente:

$$h_{pe} = \frac{10 \left( \frac{h_p}{10} - \frac{508}{N} + 5.08 \right)^2}{\left( \frac{h_p}{10} + \frac{2032}{N} - 20.32 \right)}$$

donde:

- $N$ , número de escurrimiento
- $h_p$ , lámina de lluvia para la duración de la tormenta, en mm
- $h_{pe}$ , lámina de lluvia en exceso, en mm

El rango de aplicación de la ecuación anterior, de acuerdo con Ven T. Chow, es para valores de:

$$h_p = 10 \left( \frac{508}{N - 5.08} \right)$$

- donde  $h_p$ , es la lámina de lluvia total en mm

El número de escurrimiento  $N$  depende del uso, tipo y composición del suelo; así como, del tratamiento, pendiente y estado de humedad del terreno. En función de ellos y de la lluvia total se calcula la lluvia efectiva.

Para determinar el tipo de suelo es necesario apoyarse en las cartas edafológicas y la textura; además, para interpretar las unidades de los suelos presentadas en las cartas edafológicas del INEGI, es necesario consultar las claves de las unidades de suelos y su clasificación hidrológica enfocada a la determinación de  $N$ .

### Modelos para cuencas aforadas

En cuencas aforadas, al contar con datos tanto de gastos como la forma del hidrograma y sus parámetros como volumen de escurrimiento, tiempo pico y base, es posible aplicar diferentes procedimientos para la estimación no sólo de los gastos de diseño sino también de la forma completa de los hidrogramas de diseño, dentro de los cuales se mencionan los siguientes métodos:

- Análisis de frecuencias de crecientes y “mayoración” de hidrograma representativo
- Análisis regional hidrológico:
  - Estaciones año
  - Avenida índice
  - Transformación *Box-Cox*
  - Correlación y regresión múltiple
- Método del gasto medio diario asociado a duraciones
- Análisis bivariado de gasto pico y volumen del hidrograma
- Proceso condicional  $h_p$ -VOL- $Q_p$

Los métodos que se explicarán en mayor detalle son el de Análisis de Frecuencias de Crecientes (AFA) y el del gasto medio diario asociado a duraciones.

### Análisis de Frecuencias de Crecientes (AFA)

Este procedimiento consiste en lo siguiente:

- Primero, se selecciona la avenida máxima registrada, la que puede considerarse bajo cierto criterio, como la más adversa.
- Una vez elegida, se debe construir un hidrograma adimensional, donde cada ordenada se obtiene como  $Q_i/Q_p$ , para  $i = 1$  hasta la duración  $d$  (horas o días).

- Posteriormente, con el objeto de estimar los eventos de diseño  $Q_T$  para diferentes períodos de retorno  $T$  en años, se realiza un análisis de frecuencias a los gastos máximos anuales  $y$ , mediante un criterio de bondad de ajuste (Kite, 1988) seleccionar aquella FDP que mejor describa el comportamiento de la muestra analizada.
- Finalmente, para obtener la avenida de diseño, se multiplican las ordenadas  $Q_i/Q_p$  del hidrograma adimensional por el valor de  $Q_p$ ; con lo que se obtiene una avenida con las mismas características de la más adversa registrada, solo que más grande en volumen.

### Método del gasto medio diario asociado a duraciones

Este método se basa fundamentalmente en las siguientes hipótesis:

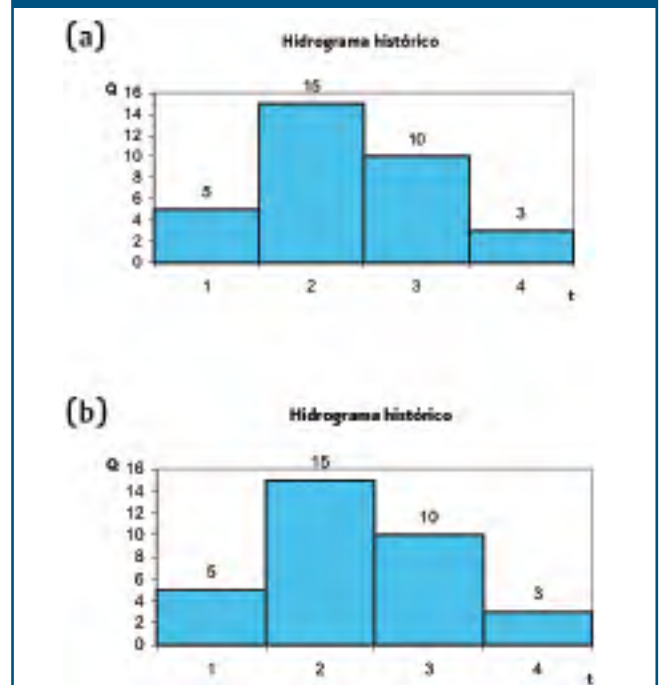
- En una presa con una capacidad importante de almacenamiento para regulación de avenidas, el gasto máximo de descarga está determinado por el volumen de la avenida de ingreso asociado a una duración crítica, pero esa duración crítica no se conoce a priori más que cualitativamente. Así, por ejemplo, la duración crítica en vasos como los de Chicoasén, Peñitas y La Villita puede ser de unas horas, mientras que para Infiernillo y Malpaso tal duración es de varios días y para La Angostura (en el Grijalva) de varias semanas.
- La información histórica de las avenidas máximas anuales no sólo consta de su gasto máximo y su volumen, sino que contiene datos adicionales que pueden sintetizarse mediante parejas gasto medio-duración.
- El análisis estadístico puede entonces realizarse ajustando funciones de distribución univariadas a los gastos medios máximos anuales correspondientes a cada duración.

A continuación se describen los pasos para la aplicación del método y después se comentan sus posibles limitaciones.

#### Primera Etapa. Análisis de los hidrogramas históricos

Considérese el hidrograma de gastos medios diarios que se muestran en la [figura 9a](#); si para ese hidrograma se buscan los gastos medios máximos para duraciones de 1 a 4 días, se obtienen los valores que se muestran en la [parte \(b\) de la figura](#).

Figura 9 a y b. Análisis de hidrogramas históricos



El proceso, ejemplificado en la figura para un caso sencillo, se puede sistematizar considerando los 365 gastos medios diarios de cada año, de manera que el gasto medio máximo para una duración de un día será el mayor de los 365 valores; para una duración de dos días se encuentra el máximo de las 364 sumas de valores consecutivos ( $Q_1 + Q_2$  ó  $Q_2 + Q_3$  ó ... ó  $Q_{363} + Q_{364}$  ó  $Q_{364} + Q_{365}$ ) y se divide entre dos; para una duración de tres días se encuentra el máximo de la suma de tres días consecutivos y se divide entre tres y así sucesivamente.

En términos analíticos, el proceso descrito puede expresarse mediante la ecuación:

$$\bar{Q}M_{kj} = \frac{1}{k} \max_i (q_i + q_{i+1} + \dots + q_{i+n-1});$$

$$i = 1, 2, \dots, 365 - n + 1$$

donde:

- $\bar{Q}M_{kj}$ : gasto medio diario máximo en el año  $j$  para una duración de  $k$  días.
- $q_i$ : gasto registrado el día  $i$  del año analizado.

Finalmente, al repetir el procedimiento para todos los años de registro se obtiene un juego de valores  $QM_{kj}$ , donde  $QM_{kj}$  es el gasto medio máximo para una duración de  $k$  días en el año  $j$ .

### Segunda Etapa. Extrapolación

Para asociar los gastos medios máximos a su periodo de retorno, se ajustan funciones de distribución de probabilidades univariadas a los valores correspondientes a cada duración.

Al unir con líneas continuas los valores asociados al mismo periodo de retorno se forman curvas como las mostradas en la [figura 10](#) que resume el resultado del proceso de extrapolación.

Las curvas de reducción, como las mostradas en la [figura 10](#) sirven también para verificar que exista congruencia en los resultados de las extrapolaciones obtenidas para las distintas duraciones; si se presentan quiebres bruscos conviene verificar que las funciones de distribución de probabilidad seleccionadas para el ajuste sean correctas.

### Tercera Etapa. Desagregación

En la etapa de análisis de los datos históricos se pasó de los valores de gasto medio diario a los promedios para distintas duraciones, como se mostró en la [figura 9](#); ahora es necesario hacer el proceso contrario, con los valores  $QM_k$  obtenidos por el periodo de retorno seleccionado para el diseño.

Si se designa como  $Q_j$  a los gastos medios diarios y  $QM_k$  al promedio para  $k$  días, se tendrá que:

$$QM_k = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k Q_j$$

donde:

$$\sum Q_j = (k)(QM_k)$$

- por lo que, para obtener sucesivamente los valores  $Q_1, Q_2, \dots, Q_k$ ; puede utilizarse la forma recursiva:

$$Q_k = k QM_k - \sum_{j=1}^{k-1} Q_j$$

- Así:

$$Q_1 = QM_1$$

$$Q_2 = 2 QM_2 - Q_1$$

$$Q_3 = 3 QM_3 - [Q_2 + Q_1]$$

En la [figura 11](#) se muestra un ejemplo del proceso para pasar de valores medios  $QM_k$  a gastos medios diarios  $Q$ .

Figura 10. Curvas de reducción de los gastos promedio para diferentes duraciones y periodos de retorno

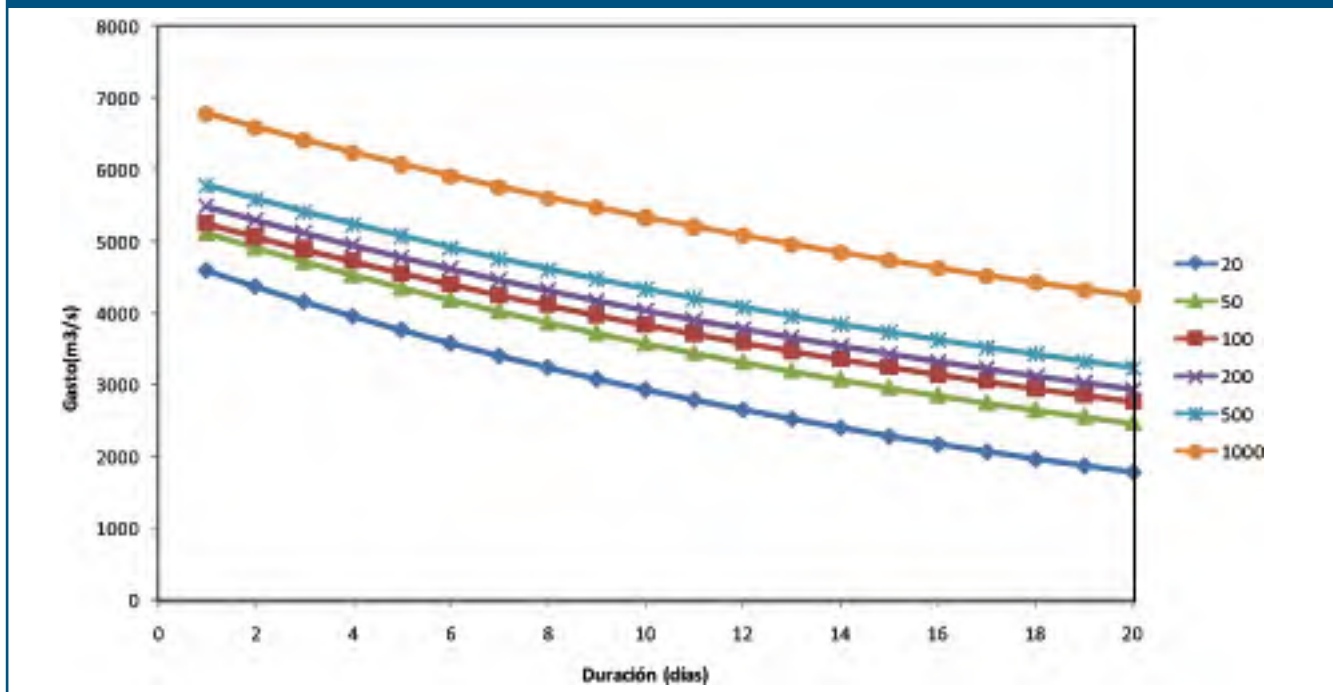
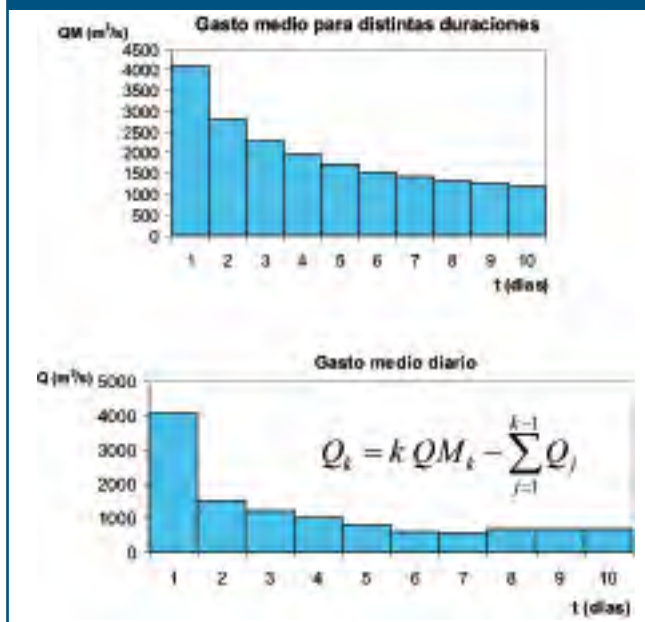


Figura 11. Cálculo de gastos medios diarios  $Q_k$



Cabe hacer notar que los gastos medios diarios obtenidos en la figura 11 no están ordenados en la forma de un hidrograma típico, por lo que se sugieren ordenamientos como los que se muestran en la figura 12, contruidos de la siguiente forma:

- **Hidrograma simétrico.** Se coloca el valor  $Q_1$  al centro y los siguientes  $Q_2, Q_3, \dots$  sucesivamente a la derecha y a la izquierda como se muestra en la figura 12(a).
- **Hidrograma con asimetría positiva.** Se coloca  $Q_1$  al centro y después, sucesivamente dos valores a la derecha y uno a la izquierda (figura 12 (b)).
- **Hidrograma con asimetría negativa.** En este caso, se colocan a los lados de  $Q_1$ , sucesivamente dos valores a la izquierda y uno a la derecha (figura 12 (c)).

### Limitaciones del método

Es necesario por un lado analizar estadísticamente los gastos máximos anuales instantáneos, y adicionalmente revisar con detalle varias avenidas históricas representativas. Con esos resultados se puede conformar hidrogramas para intervalos de tiempo menores que un día.

Por otro lado, el suponer que simultáneamente se presentan los máximos de cada duración asociados a un determinado periodo de retorno puede parecer conservador; sin embargo, de esa manera se garantiza considerar el gasto medio (y por tanto también el volumen) asociado a la duración crítica, cualquiera que ésta sea.

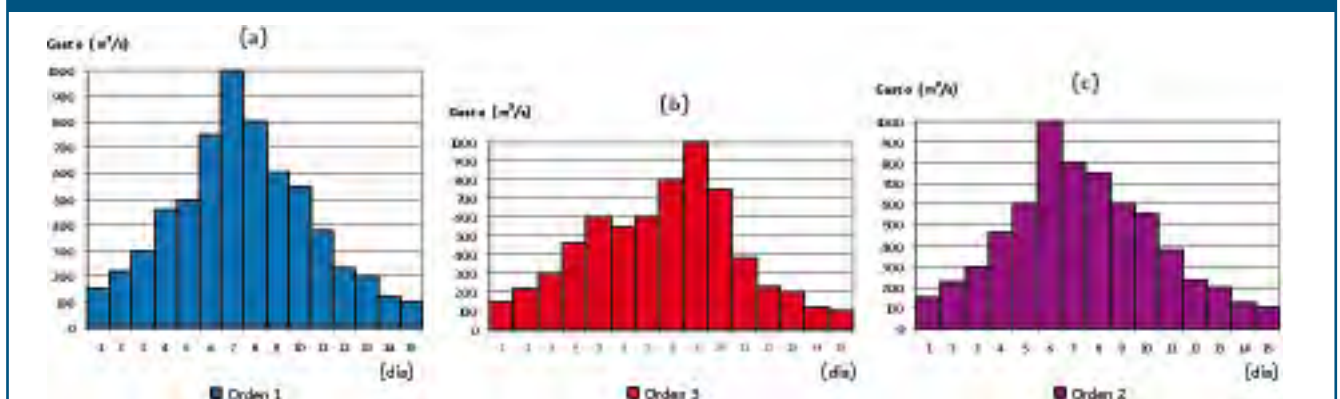
### Tamaño óptimo de una obra de protección contra inundaciones

Por el carácter aleatorio de las avenidas, en la mayoría de los casos no es posible realizar obras de una magnitud tal que eliminen totalmente el riesgo de inundación. Más bien, es necesario diseñar la capacidad de la obra para que, sin costos excesivos, se proporcione una protección adecuada.

En esta sección se analiza el problema de definir la magnitud de una obra que, o bien es la única considerada como factible, o bien constituye una de las alternativas que deben evaluarse con el procedimiento que se describe en Domínguez, 1996.

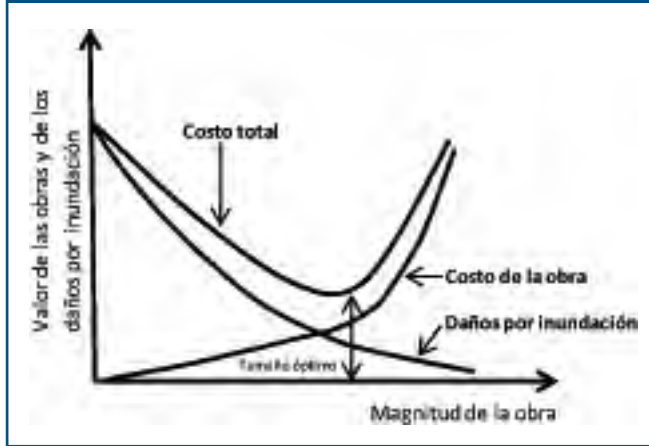
En forma cualitativa puede decirse que conforme se incrementa la magnitud de la obra, se incrementa la protección proporcionada, pero también su costo. Debe existir, por lo tanto, un tamaño óptimo para el cual la suma de los daños o inundación más el costo de la protección sea mínima, como se muestra en la figura 13.

Figura 12. Alternativas de ordenamiento del hidrograma de diseño



A continuación se describen herramientas útiles para el desarrollo cuantitativo del análisis esquematizado en la figura 13, tomando en cuenta la aleatoriedad de las avenidas.

**Figura 13. Selección de la magnitud óptima de una obra de protección**



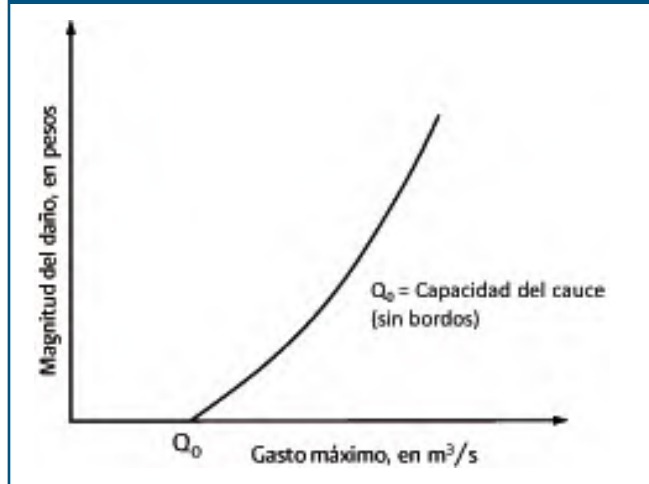
Para facilitar la exposición se considerará, como ejemplo, que la obra por construir es un bordo de protección marginal; los conceptos que se manejan pueden, sin embargo, aplicarse a otro tipo de obras de protección. Supóngase que se piensa construir bordos de protección en una longitud de varios kilómetros a lo largo de las márgenes de un río, con objeto de proteger contra inundaciones a cultivos ubicados en ambos lados del cauce.

Para encontrar la altura óptima de los bordos se desarrollan los siguientes estudios:

- Estimación de los daños esperados en la situación actual.
- Relación entre gasto máximo de las avenidas y magnitud de los daños que causan.

En la situación actual, sin bordos, y de acuerdo con la topografía de la zona, se determina primero la relación entre el gasto máximo de una avenida y el tamaño de la superficie de cultivo inundada. De acuerdo con la amplitud de la zona inundada y tomando en cuenta los distintos cultivos afectables, se estima el valor de los daños correspondientes. De esta forma, repitiendo el cálculo para varios valores del gasto, se construye una gráfica como la mostrada en la figura 14.

**Figura 14. Relación  $Q_{\text{diseño}}$  - Magnitud del daño**

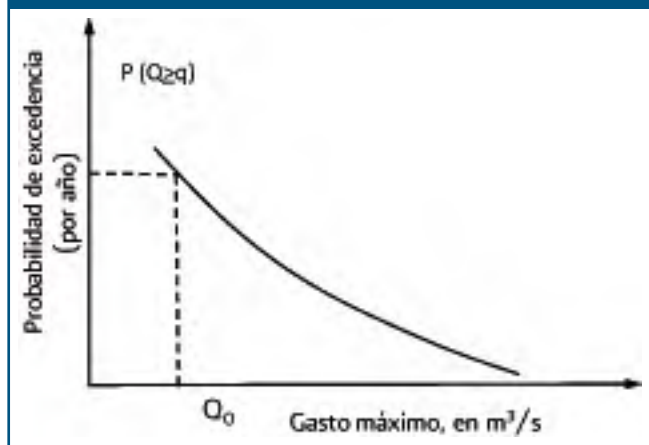


**Estimación del valor esperado de los daños**

Como los gastos máximos se comportan aleatoriamente, es necesario realizar un estudio hidrológico de la zona, que permita estimar la probabilidad de que se excedan distintos gastos máximos. Las probabilidades, expresadas en veces por año, y los gastos correspondientes, se dibujan en una figura como la 15, en la que  $Q_0$  es la capacidad del cauce y  $P_0$  la probabilidad de que en un año cualquiera el gasto sea mayor o igual que  $Q_0$ .

Combinando los resultados de las figuras 14 y 15; es decir obteniendo, para cada gasto mayor o igual a  $Q_0$ , la pareja de valores probabilidad de excedencia-magnitud del daño, se construye la figura 16, cuya área sombreada es igual al daño anual medio (daño esperado) al que está expuesta la zona en las condiciones actuales.

**Figura 15.  $Q_{\text{diseño}}$  - Probabilidad de Excedencia**





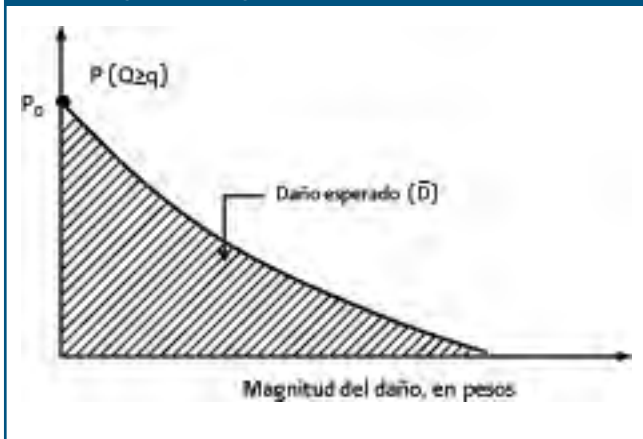
### Estimación de los daños esperados en el futuro

Si se considera que, para una obra de determinada magnitud, los daños son nulos mientras el gasto sea menor a su capacidad, pero iguales a los que se producirían sin obra cuando la capacidad de ésta es rebasada, los daños anuales esperados, para cada magnitud de la obra, pueden valuarse fácilmente con el procedimiento ya descrito, pero tomando en cuenta que a cada altura de los bordos ( $h_i$ ) le corresponde una capacidad del cauce,  $Q_0'(h_i)$ .

La figura 17 muestra, comparándolos, el procedimiento utilizado para calcular el daño esperado en la situación actual (lado izquierdo de la figura) y el utilizado para calcular dicho daño, para una altura de bordo  $h_i$  (lado derecho de la figura).

Si los daños que provocaría la falla son distintos a los que se tendrían sin obra, el procedimiento es análogo pero para cada tamaño de obra serán necesario construir la curva daño contra probabilidad de excedencias.

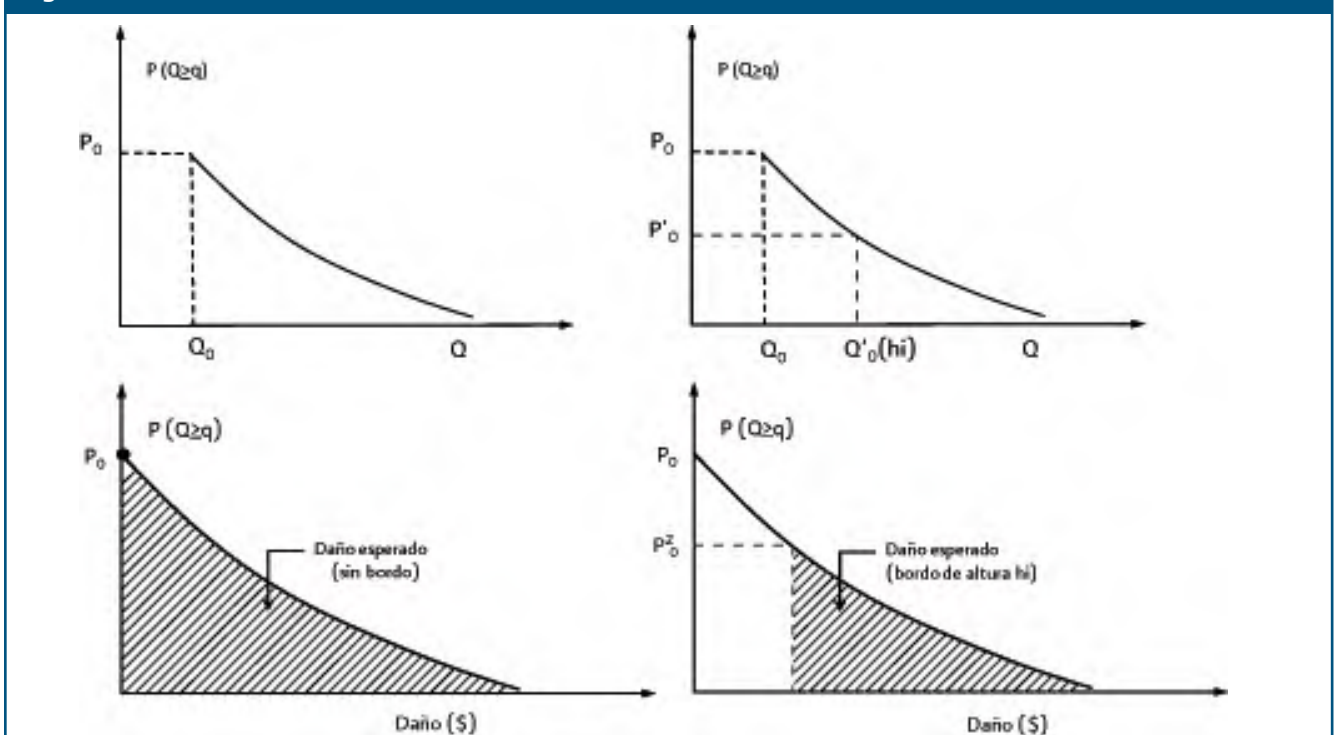
**Figura 16. Daño anual medio esperado. Condiciones actuales (sin bordos)**



### Selección de la magnitud óptima de la obra

Se considera como magnitud óptima de la obra aquella para la cual la suma de los daños esperados más los costos de la obra, es mínima (figura 13). Como los daños esperados calculados con el procedimiento descrito pueden ocurrir en cada año de la vida útil de la obra, la suma debe realizarse expresando en anualidades los costos de construcción, reparación y mantenimiento.

**Figura 17. Estimación de daños en el futuro**





## Referencias bibliográficas

- DOMÍNGUEZ, M. R. *Evaluación de Proyectos*, Series del Instituto de Ingeniería (Azul 577). UNAM, México, 1996.
- ESCALANTE, S. C. y Reyes, Ch. L. "Estimación Regional de Avenidas de Diseño", *Revista Ingeniería Hidráulica en México*, Vol, XV, Núm 2, 2000.
- ESCALANTE, S. C., y Reyes, Ch. L. *Técnicas Estadísticas en Hidrología*, DEPMI-UNAM, 2002.
- Singh, V.P. *Hydrologic Systems Rainfall-Runoff Modeling*, Vol. 1. Prentice Hall, 479 p., 1988.

## 2.3 Estudios potamológicos

La Potamología es el estudio de los ríos, que abarca conceptos de caudal, cauce, cuenca, curso o corriente, régimen fluvial, perfiles (longitudinal y transversal), afluentes y su importancia, ecología, flora, fauna, recursos hídricos e hidroeléctricos, navegación fluvial, entre otros.

En este contexto, se deben concebir las cuencas como sistemas integrados y reconocer que las actividades socioeconómicas, las modalidades del uso de la tierra, los procesos hidromorfológicos, entre otros; son elementos constitutivos de esos sistemas.

La repetición de anomalías extremas de la precipitación, que se traduce en abundancia excesiva o escasez de agua, es decir en inundaciones o sequías, respectivamente, es un componente normal de la variabilidad natural del clima.

Entre los efectos negativos de dichas anomalías, destacan: las pérdidas de vidas y los daños materiales; las migraciones en masa de personas y animales; destrucción de cultivos; interrupción y destrucción de vías de comunicación; la degradación del medio ambiente; la propagación de enfermedades; la escasez de alimentos, energía, teléfono, agua y otras necesidades básicas. El grado de vulnerabilidad a esos desastres naturales es más elevado en los países en desarrollo, donde en la mayoría de los casos, los pobres son los más afectados ya que por necesidad se ven obligados a ocupar las zonas más vulnerables.

### Manejo integral de la cuenca

Una cuenca fluvial es un sistema dinámico en el que se dan una serie de interacciones entre suelo y agua. En estas interacciones, no sólo conciernen los suelos y los sedimentos; sino también, los contaminantes (desechos urbanos e industriales) y los nutrientes.

El sistema es dinámico, tanto en el tiempo como en el espacio. El funcionamiento de la cuenca fluvial en su conjunto está regido por la índole y extensión de esos intercambios. La intensificación de actividades económicas como la minería, la agricultura y la urbanización ha sido responsable de la deforestación en gran escala, que se ha traducido en un mayor volumen de sedimento en las cuencas hidrológicas. Los desprendimientos de tierras

debidos a fenómenos naturales o a actividades humanas en zonas montañosas se traducen en el aumento de la concentración de sedimentos en los ríos, y trastornan sus regímenes naturales.

Puede considerarse que la pérdida de suelo en cuencas está constituida en tres fases principales: desprendimiento de las partículas del suelo, transporte y depósito del material sólido (sedimento). El sedimento baja de las partes más altas de las cuencas, hacia las más bajas.

Si bien la mayor parte del sedimento va a parar al mar, un porcentaje elevado se deposita en los canales de los ríos, con la consiguiente reducción de la capacidad de descarga del sistema de transporte. Cuando ello se repite a lo largo de varios años, secciones del río podrían quedar por encima de las planicies de inundación circundantes.

Aunado a esto, la urbanización a gran escala en cuencas comparativamente pequeñas acentúa los valores máximos de las crecidas y acorta el tiempo de respuesta de la cuenca, lo que tiene como consecuencia una reducción del tiempo de concentración de la cuenca. Esto obedece a que, en las cuencas urbanizadas los terrenos están cubiertos por estructuras, incluidos techos, calles pavimentadas y otras superficies impermeables que aumentan el volumen del flujo de superficie y disminuyen las recargas de aguas subterráneas y la evapotranspiración.

Asimismo, en tierras bajas, zonas planas y zonas costeras, los terraplenes de carreteras, vías férreas y otras infraestructuras similares podrían llegar a obstruir el flujo del agua, acentuando las condiciones río arriba. Además, los deslaves tienden a asociarse con pendientes empinadas, suelos saturados y movimientos tectónicos, y lo más probable es que sean el resultado de la intervención humana, por ejemplo: en la construcción de caminos.

## Enfoque ecosistémico

Los ecosistemas acuáticos fluviales, incluidos ríos, humedales y estuarios, tienen una importancia inestimable para la población en muchos campos, por ejemplo: agua potable, alimentos, materiales, depuración de aguas, mitigación de inundaciones y oportunidades recreativas.

En muchos casos, la variabilidad de la cantidad y calidad del flujo, así como su periodicidad y duración, son cruciales para el mantenimiento de los ecosistemas fluviales. Esto es más apreciable en regiones de clima seco, que experimentan inundaciones estacionales seguidas de

un período de sequía. Las diferentes medidas de gestión de las crecidas tienen diversas repercusiones en el ecosistema y, al mismo tiempo, los cambios en el ecosistema tienen consecuencias para la situación de las crecidas, sus características y el comportamiento de los ríos.

Por otra parte, cuando es abundante la vegetación de la cuenca, se tiene mayor influencia sobre la acción de la lluvia y la magnitud de los futuros escurrimientos superficiales; y, dentro de sus principales efectos, se encuentran:

- Evita o reduce el impacto directo de las gotas de lluvia contra el suelo.
- Retiene parte del agua, tanto al mojar la vegetación como la hojarasca.
- Disminuye las velocidades de desplazamiento de las láminas de agua superficial y retarda su concentración.
- Facilita e incrementa la infiltración.
- Evita o reduce la erosión del suelo.

## Morfología del río

Es necesario estudiar la estructura y forma de los ríos, incluyendo la configuración del cauce en planta, la geometría de las secciones transversales, la forma del fondo y las características del perfil.

Para facilitar estos estudios, se hace una clasificación de ríos desde diferentes tipos de vista:

1. **Según su edad:** en **jóvenes** (cauces de montaña con pendientes altas y sección transversal tipo "V"); **maduros** (se presentan en valles amplios y tienen pendientes intermedias o bajas); y **viejos** (se encuentran en planicies cuyo ancho del río es 15 a 20 veces mayor que el ancho de los meandros, con pendientes muy bajas).
2. **Por condición de estabilidad:** **estática** (arrastra sedimentos, pero no mueve los elementos de las orillas); y **dinámica** (arrastra sedimentos del fondo y de la orillas; pero, la pendiente y la sección no cambian apreciablemente año con año).
3. **Por el material de las márgenes y el fondo:** **cohesivos** (alojados en material arcilloso); **no cohesivos** (material formado por partícula sueltas); y **acorazados** (formación de una capa protectora o coraza de material grueso en su superficie).
4. **Por la geometría:** **Rectos, sinuosos, con meandros, con curvas en "trinchera", trenzados, con islas, en estuario, en pantano y con deltas.**

5. **Por condición de transporte:** en términos generales se considera que los tramos de los ríos pueden estar sujetos a un proceso de erosión, sedimentación o en equilibrio.

En general, es necesario identificar los procesos en los que se encuentra un río, para poder ayudarle a encontrar su forma de ajuste a las nuevas condiciones de gasto líquido y de transporte de sedimento; dado que, estos procesos son muy lentos y se requiere de muchas décadas para llegar a un cierto equilibrio morfológico.

## Impacto de las obras de control

En condiciones normales todos los tramos de todos los ríos han alcanzado un cierto grado de equilibrio, lo cual significa que si en forma artificial no se modifican uno o varios de los parámetros que intervienen en esa condición de estabilidad, el agua y los sedimentos continuarán escurriendo en la forma como lo vienen haciendo. Por el contrario, si se modifican en forma natural o artificial algunos parámetros, con el tiempo y lentamente el tramo de río cambiará a una nueva condición de equilibrio.

Por lo anterior, conviene resaltar que la presencia de una obra en el cauce de un río, altera y modifica sus escurrimientos y por ende el equilibrio o proceso natural al que esta sujeto. Las alteraciones que una obra produce en el flujo de un río se traducen de inmediato en erosiones o sedimentaciones en el cauce, que pueden ser muy locales o abarcar grandes tramos del río.

Se puede decir que existe un equilibrio entre el gasto líquido, el gasto sólido que entra al tramo en estudio y el que es capaz de transportar el río dentro de ese mismo tramo, las características del material de fondo y orillas, la pendiente longitudinal del río y la geometría de la sección transversal del escurrimiento.

Una modificación a cualquiera de estos parámetros, repercutirá en los demás y los modificará hasta alcanzar un nuevo estado de equilibrio. Las modificaciones pueden ser lentas o bruscas y naturales o debidas al factor humano.

Las causas de modificación brusca más comunes se deben a:

- a) Cambios en el río debido a cortes de meandros.
- b) Movimientos telúricos que cambien la configuración del terreno y el trazo del río.

c) Factores humanos como la construcción de presas, deforestación y puentes con reducida capacidad hidráulica.

Las modificaciones que el hombre produce a los cauces y que cambian su condición natural de equilibrio pueden ser benéficas o dañinas a la operación y comportamiento futuro del río. Aún más, una misma acción puede ser benéfica a un río y perjudicial en otro.

Entre las alteraciones más importantes debidas al factor humano se pueden señalar:

- a) **Construcción de presas.** Estas obras originan alteraciones de importancia, tanto aguas arriba como aguas abajo del embalse. Primero, cambian el hidrograma anual y en ocasiones el volumen de escurrimiento anual; y, segundo, interrumpen el transporte de sedimentos y por lo tanto se modifica la pendiente del río en el tramo aguas debajo de la presa.
- b) **Erosión de cuencas principalmente por la deforestación y las técnicas deficientes de cultivo.** El principal efecto de estas acciones, es la mayor producción de material sólido que va a depositarse en el cauce del río reduciendo su capacidad.

Existen otras actividades humanas que también afectan a los cauces aunque con un orden de magnitud menor que las dos antes señaladas, entre ellas se pueden citar:

1. Construcción de obras para navegación. Se construyen represas o esclusas.
2. Disminución de la anchura de los ríos. Construcción de espigones, muros y diques longitudinales.
3. Rectificación de cauces.
4. Canalización o entubamiento del cauce.
5. Construcción de presas derivadoras.
6. Construcción de presas rompe-picos.
7. Construcción de presas para retener azolves.
8. Construcción de vías terrestres, incluyendo puentes y alcantarillas.
9. Desvíos permanentes por medio de cauces de alivio.
10. Desvíos temporales a lagunas o zonas bajas.
11. Remoción de la vegetación.
12. Dragado del cauce principal y demolición de obstáculos.

Al realizar estas últimas se deben tomar en cuenta los cambios que producirán a los ríos, lo que permitirá

tomar las medidas necesarias y realizar los diseños que eviten o reduzcan las modificaciones adversas que pudieran ocurrir y que de presentarse, pueden aún destruir la obra que las produjo.

Sin embargo, también se considera dentro de las obras de protección para el control de inundaciones, la reforestación de la cuenca; y, con ella, se retrasa el tiempo de concentración y disminuye el coeficiente de escurrimiento, además de que, se reduce la aportación de sedimentos a los cauces.

## Impacto de las presas

En general, después de la construcción de una presa, cambia el régimen hidrológico y sedimentario de los ríos; es decir, se modifica la variación natural del gasto líquido y sólido del río.

La variación en el gasto líquido, será brusca durante el día, en tiempos muy cortos, debido a las políticas de operación de la presa; y, en ocasiones, parte del agua almacenada no retorna al río sino que es desviada a otros embalses o cuencas; o bien, es conducida por canales para ser utilizada en riego, para abastecimiento de agua potable o para la generación de electricidad, modificando el volumen de escurrimiento anual.

Al interponer un obstáculo en el río, como es el caso de una presa, se origina un estancamiento; por lo cual, el sedimento transportado se comportará según el siguiente mecanismo: al entrar la corriente al embalse, el material grueso se depositará de acuerdo a la disminución de la velocidad del agua por efecto de la ampliación del cauce y el crecimiento del tirante, formando en la entrada del vaso, una acumulación de sedimento grueso llamado delta y un cambio de la pendiente del río en el primer tramo aguas arriba del embalse; el sedimento más fino, continuará hacia adentro del vaso como una corriente de densidad, para posteriormente al detenerse, depositarse en el fondo del mismo.

Existen embalses en los que tal corriente no llega a formarse; y, se produce en el vaso o en gran parte del mismo, una turbidez generalizada que evolucionará, según la dinámica particular del almacenamiento.

## Datos necesarios para los estudios

- Topografía.

- Topo-batimetría (se puede realizar con sistema láser (SHOALS y LIDAR).
- Mapas y fotografías aéreas.
- Información hidrometeorológica.
- Gastos líquidos y sólidos.
- Niveles de la superficie del agua.
- Trayectorias de flujo superficial.
- Estudios geotécnicos.
- Estudios geofísicos (estudio de sondeos por transitorio electro-magnético TEM, para determinar la secuencia estratigráfica; y, en su caso, un estudio de sismicidad con calibración por perforaciones).
- Para el cálculo de transporte de sedimentos.
- Curva granulométrica del material de fondo.
- Peso específico o densidad de las partículas del fondo.
- Sección transversal del cauce.
- Elevación de la superficie del agua para el cual se desea conocer el transporte de sedimentos.
- Gasto líquido de la superficie del cauce para la elevación de la superficie del agua.
- Pendiente hidráulica media a lo largo del cauce, en el tramo en estudio.
- Temperatura del agua.

Para poder realizar un estudio potamológico completo, es recomendable considerar los siguientes puntos:

- Disponer de una comprensión clara de las condiciones existentes dentro de la cuenca en estudio.
- Conocer las condiciones fisiográficas de la región.
- Establecer, comenzar o continuar con la recopilación de datos históricos en la cuenca (mapas, fotografías, etcétera).
- Incluir la recopilación y el análisis de datos suficientes, que nos permitan realizar la estimación de los volúmenes anuales del sedimento que se está erosionando, transportando o depositando en las cercanías de las obras.
- Poner especial énfasis en las características hidráulicas del cauce.
- Ser realista en lo que respecta a las obras de ingeniería, para que puedan ser evaluadas económicamente; y, en su conjunto, con las demás características de la cuenca, para predecir sus posibles impactos.
- Aclarar las necesidades de datos necesarios.
- Iniciar un calendario para la obtención de datos.

Una condición deseable en el diseño de toda obra de ingeniería fluvial, es que después de determinar el diseño técnico y operadito de la obra, se revise la estabilidad fluvial del mismo, para que en caso necesario se diseñe la sección estable y se construya al parejo de la obra principal, disminuyendo de manera significativa el impacto de la obra principal en el cauce.

Finalmente, la integración de los datos necesarios para desarrollar un estudio potamológico completo, dependerá en gran medida de la experiencia de los involucrados, en los diferentes campos mencionados.

## 2.4 Estudios para el control de avenidas

En las zonas de planicie es donde hay un mayor potencial de desarrollo, sin embargo, la mayoría de éstas son propensas a las inundaciones, por lo tanto, son las que requieren de mayor número de obras de protección, a medida que el desarrollo las justifique.

Las obras para el control de avenidas, son construidas en los cauces o en las cuencas para encauzar, derivar, confinar, retener o almacenar los escurrimientos. Con ellas, se logra abatir los gastos máximos de las avenidas, facilitar el paso libre del agua; y proteger a poblaciones y zonas más o menos extensas, del efecto de los escurrimientos.

Los diferentes estudios y métodos de control de inundaciones, implican:

- Medidas de control de las cuencas hidrográficas con el fin de reducir la escorrentía y minimizar los gastos de inundación.
- La capacidad de retención de almacenamiento o la capacidad de canal inundable.
- Los desvíos, con cauces o canales de alivio hacia otras zonas inundables.
- El confinamiento de las inundaciones en una cierta zona, por medio de diques; comúnmente llamada como, inundación temporal.

Normalmente, la vida económica de un proyecto se selecciona como la vida útil del mismo; ya que, se compara su costo, con los beneficios que aportará durante un periodo de tiempo determinado, sin importar que la obra pueda durar más.

Entre los factores que se deben tomar en cuenta para seleccionar el tipo de obra a realizar, se encuentran:

- Las consecuencias de falla de la obra, sobre todo en pérdidas de vidas humanas.
- La vida real esperada de la obra y no únicamente la vida útil económica.
- El costo del incremento de la seguridad. En ocasiones al incrementar el período de retorno, el aumento en el gasto de diseño es reducido y el costo asociado también lo es.
- La disponibilidad económica.

Al iniciar el estudio de una región para protegerla contra inundaciones, después de cerciorarse que no existe información al respecto, se deberán instalar escalas cerca de los poblados, además de garantizar el aforo de la corriente con una estación hidrométrica como mínimo. Todos los datos de aforo servirán para calibrar cualquier modelo de predicción o de tránsito de avenidas que sea elaborado.

Asimismo, para conocer los niveles que alcanza el agua, en cualquier punto de la zona de estudio y en cualquier instante, durante el paso de una avenida, se utilizará un modelo físico o matemático que permita analizar el tránsito de la avenida, a lo largo del tramo del río bajo estudio y de su respectiva planicie.

### Acciones estructurales para evitar o reducir inundaciones

Estas acciones consisten en la construcción de obras que interfieren directamente con el agua de lluvia o con la que escurre por los ríos, para impedir su paso, confinarla, encauzarla, almacenarla o modificar su velocidad de desplazamiento y caudales.

Las obras que comúnmente se construyen para reducir inundaciones causadas por los desbordamientos de los ríos, son:

- a) **Bordos perimetrales** a poblaciones o construcciones de importancia (zonas cuyo interés por protegerlas es grande.
- b) **Bordos longitudinales** a lo largo de una o ambas márgenes de un río.
- c) **Muros longitudinales** a lo largo de una o ambas márgenes del río.
- d) **Desvíos permanentes** por medio de cauces de alivio o estructuras de encauzamiento, en las que el agua es dirigida hacia otros cauces, lagunas, costeras o directamente al mar, y no retorna al río.
- e) **Desvíos temporales** a lagunas o zonas bajas de la planicie de inundación. El agua retorna al río cuando disminuyen los gastos de la avenida.
- f) **Corte de meandros o rectificaciones** para incrementar la pendiente del río y por tanto su capacidad de conducción hidráulica.
- g) **Presas de almacenamiento**, que puede ser una o varias escalonadas.
- h) **Presas rompe-picos**, generalmente se construyen varias escalonadas.





- i) **Presas para retener azolves**, las cuales, no afectan los hidrogramas pero evitan el azolvamiento de otros cauces y por tanto la pérdida de su capacidad hidráulica.
- j) **Canalización o entubamiento de un cauce**, se utilizan en los tramos en que los arroyos o ríos cruzan poblaciones o ciudades. Se deben construir con una capacidad adicional para absorber picos, o diseñarse en conjunto con estructuras de desvío permanente.

## Descripción de las obras más comunes para control de inundaciones

### a) Bordos perimetrales

Un bordo es un terraplén de arcilla compactada (aunque los hay de arena), construido con el objeto de proteger casas, tierras agrícolas y vidas humanas contra la acción de una creciente o remanso de agua.

Cuando se desarrollan los centros de población establecidos cerca de los ríos y se desea protegerlos contra inundaciones periódicas, la solución más común y explícita, consiste en rodearlos parcial o completamente con un bordo, lo cual depende de la topografía. Estos bordos tienen la ventaja de ser la solución más económica que puede construirse; además, no alteran los niveles de los escurrimientos, ya que su efecto sobre ellos es nulo o muy reducido.

Generalmente el alineamiento de los bordos se hace siguiendo la configuración de la zona por proteger dejando un amplio cauce de inundación, de manera que no se lleguen a tener elevaciones del agua apreciables; sin embargo, eso no siempre es posible ya que en ocasiones obligaría a desplantar el bordo en lugares inadecuados, donde cimentarlos sería difícil o muy costoso.

La altura de los bordos se fija partiendo de los niveles máximos que se hayan registrado con anterioridad, a partir de las huellas dejadas por el agua. Si hay alguna estación de aforo cercana, se trabajará con los datos que de ella se obtengan. La altura final del bordo es igual a la altura del tirante del agua, que corresponde a la avenida de diseño, más la altura del oleaje si lo hubiera y el alcance del mismo, más un bordo libre. Además debe agregarse una altura que corresponde al valor del asentamiento que alcance a sufrir la estructura.

Como el bordo perimetral es una frontera entre el río y el poblado, se tendrá que desalojar el agua de lluvia que caiga dentro de la zona confinada por los bordos,

mediante una tubería que pase bajo el bordo y descargue el agua en un nivel más bajo o mediante bombeo.

### b) Bordos longitudinales

Se construyen a lo largo de las márgenes del río y al confinar el agua entre ellos sirven para proteger simultáneamente varias ciudades y pueblos, así como grandes extensiones de terreno con alta producción agrícola y ganadera. Además, trasladan las avenidas hacia aguas abajo al no permitir desbordamientos sobre la planicie, todos los volúmenes de agua quedan confinados y tienen que pasar entre bordos; por lo que, obligan a que pasen por secciones con menor anchura. Dependiendo del desarrollo regional, este tipo de bordos se pueden construir en una o ambas márgenes.

La localización en planta de los bordos longitudinales, por lo general, se efectúa a lo largo de ambas márgenes de un río y procurando que sean paralelos entre sí; además conviene que estén suficientemente separados de las orillas del río, para disponer de un área hidráulica adicional y lograr así que la altura de los bordos sea menor.

Por otra parte, si el río desarrolla meandros, los bordos no deben seguir el alineamiento del eje del río sino que se deben colocar dos bordos paralelos que sigan la dirección general del río o de la pendiente de la planicie, de tal forma que todos los meandros queden entre ellos.

Debe tenerse en cuenta que durante las avenidas, los bordos longitudinales modifican completamente los escurrimientos, tanto en los tramos en que hay bordos, como en las zonas de aguas arriba y aguas abajo de la protección.

### c) Muros longitudinales

Un muro longitudinal consiste en una frontera prácticamente vertical colocada en sustitución de un tramo de bordo. Se utilizan en sustitución de los bordos, cuando los taludes de estos últimos son muy tendidos y por tanto, el volumen de obra resulta ser demasiado grande o cuando no hay espacio disponible para construir un bordo.

Éstos se construyen frecuentemente cuando se tienen arroyos o ríos que cruzan zonas urbanas o bien los terrenos son muy solicitados y se trata de ocupar el menor espacio. Por otra parte, el muro debe ser protegido contra la erosión colocando enrocamiento en el lado expuesto al río.

#### d) Desvíos permanentes

Pueden formarse con **cauces de alivio** y **canales de alivio**. Esta solución, consiste en desviar agua de un río y conducirla, hacia el mar, una **laguna** o a otro cauce. El agua así desviada no retorna a esa corriente con lo que se logra reducir un gran volumen de agua al hidrograma del río en la sección donde se inicia el desvío.

Los desvíos permanentes generalmente se forman sobre la planicie, limitado sus fronteras con bordos longitudinales. En algunas ocasiones se utilizan como cauces paralelos, construidos para desviar parte del flujo del cauce.

- **Cauces de alivio.** Se construyen para disminuir la altura de los bordos longitudinales, si topográfica y geográficamente ello es posible. Así, el gasto desviado se debe sustraer al gasto que escurre entre los bordos a lo largo del río, con lo que se logra que, aguas abajo del desvío, la altura de los bordos sea menor o no sean requeridos. Estos, se forman con bordos longitudinales y el agua escurre sobre el terreno natural de la planicie. Se utilizan principalmente cuando la longitud del desvío es de varios kilómetros y los gastos por desviar son de miles de metros cúbicos por segundo.
- **Canales de desvío.** Usualmente son de menor longitud que los cauces de alivio, y asimismo, su capacidad hidráulica también es más reducida, ya que el agua desviada tiene que pasar por el canal excavado, el cual tiene un área hidráulica menor que la de los cauces de alivio. Se construyen en los ríos en los que el desvío sea de longitud reducida y el gasto por desviar es de centenas de metros cúbicos por segundo.

En las poblaciones donde existen canales de riego de gran capacidad, es conveniente realizar el cálculo de la cantidad de agua que podría pasar en condiciones críticas, de manera que dichos canales de riego funcionen como canales de desvío que recojan el agua de la estructura de toma aguas arriba de la población y la descarguen aguas debajo de la misma y analizar si este desvío logra reducir en una cantidad importante el tamaño de las estructuras de defensa de la población.

#### e) Desvíos temporales

Los desvíos temporales se realizan cuando a los lados del cauce por proteger existen **zonas bajas** o **lagunas** que

pueden ser inundadas momentáneamente mientras dura una avenida. Aunque sean zonas que tengan aprovechamiento agrícola o ganadero, los daños que se ocasionan al inundar son pequeños, porque están destinados para ese propósito.

Estas obras, al igual que los cauces de alivio, se combinan con los bordos longitudinales. La diferencia principal es que, mientras con un desvío permanente se tiene la posibilidad de desviar volúmenes de agua muy grandes, con los desvíos temporales sólo se puede desviar un volumen prefijado que es igual a la **capacidad de la laguna, zona baja o depósito artificial delimitado (formado con bordos)**.

Otra diferencia consiste en que, el agua almacenada en la laguna retorna al río en cuanto descienden los niveles de él, ya que el volumen útil debe estar disponible para la siguiente avenida. Así que, en el estudio hidrológico, se debe analizar la posibilidad de varias avenidas seguidas y tiempos entre una y otra.

#### f) Corte de meandros (rectificaciones)

Otra forma de reducir los desbordamientos en una longitud limitada del río, consiste en aumentar la capacidad hidráulica del cauce principal, lo cual se logra rectificando un tramo de río. Este aumento de capacidad se obtiene únicamente en el tramo rectificado y en el tramo inmediato aguas arriba de él. La capacidad hidráulica es mayor que la del río original, porque aumenta su pendiente de manera artificial.

Conviene recordar que en los ríos existe una relación del equilibrio entre los gastos líquidos y sólidos que pasan por un tramo determinado, las dimensiones de la sección transversal del cauce, la pendiente hidráulica en el mismo tramo y las propiedades físicas del material que forma el fondo y las orillas del cauce (lo que se llama una "sección estable"). Al cortar uno o varios meandros se incrementa la pendiente, como se ha mencionado, con lo que se destruye ese equilibrio. Para recuperarlo el río tiende, en forma continua, a suavizar la pendiente, lo que logra más fácilmente desarrollando nuevos meandros.

Lo anterior, es lo que se debe evitar para que la acción estructural aquí tratada sea efectiva. Ello se logra al proteger las márgenes del río con espigones y recubrimientos marginales, de tal manera que el río no se desplace lateralmente y por tanto, no pueda desarrollar nuevos meandros.

### **g) Presas de almacenamiento**

El propósito principal de las presas es almacenar el agua en exceso que hay en la época de lluvias, para utilizarla en época de secas y así garantizar el riego, abastecimiento de agua potable o generación de energía eléctrica durante todo el año. Sin embargo, también se construyen presas con el único objeto de controlar avenidas. Las presas aportan otros beneficios adicionales, ya que, sirven como zonas de esparcimiento, para practicar deportes acuáticos y para desarrollos piscícolas.

Las presas constan de un dique principal o cortina que se construye en el río para cerrar el paso del agua y almacenarla. Para lograr dicho almacenamiento se pueden requerir diques secundarios que eviten la salida del agua en los puertos y está escurra hacia otras cuencas. Con ello, se forma el vaso donde se almacena el agua. Las otras dos obras de importancia en una presa son: la de excedencias por donde son evacuadas las aguas que no pueden ser aprovechadas y la de toma por donde se conduce el agua que se utiliza para generar energía eléctrica, para consumo humano o para usos agrícolas.

Todas las presas en mayor o menor grado, cualquiera que sea su propósito principal, ayudan en el control de inundaciones, ya que los gastos máximos que salen de sus obras de excedencias, son menores que los máximos de entrada al vaso.

### **h) Presas rompe-picos**

Están formadas generalmente por una cortina de poca altura, una obra de excedencia y un desagüe. Este último, está formado por orificios o tuberías cortas, cuyo nivel inferior coincide con el nivel del cauce del río. Son poco eficientes como estructuras evacuadoras, por ello, se aprovecha para lograr que el agua suba rápidamente aguas arriba de la cortina y queden almacenados mayores volúmenes temporalmente, al mismo tiempo que los gastos extraídos son bajos.

La cortina generalmente es de concreto o mampostería y de preferencia debe estar cimentada en roca. La altura usual de las presas rompe-picos, no sobrepasa los 20 m y se utilizan normalmente en ríos en donde las condiciones de cimentación son favorables y las avenidas son poco voluminosas.

Sirven para proteger poblaciones que son atravesadas por arroyos o ríos y son económicas cuando se tienen

condiciones geológicas y topográficas adecuadas y el fondo del río es rocoso o resistente a la erosión.

Cuando los ríos tienen pendientes fuertes y los embalses formados son de poca capacidad, se acostumbra a colocar varias presas en cascada para abatir el gasto máximo de la avenida, hasta lograr que el gasto máximo aguas abajo del conjunto pase por el cauce sin desbordarlo.

### **i) Presas para retener azolves**

Son pequeños diques interpuestos a la corriente que se colocan en arroyos y ríos. Generalmente tienen una altura entre 2 y 10 m, aunque también las hay mayores. Consisten en un dique construido de concreto o mampostería, gaviones o elementos prefabricados en cuya corona, se forma una escotadura que sirve como obra de excedencias o vertedor.

Usualmente no tienen obra de toma y toda el agua pasa sobre el vertedor. Cuando el dique es de mayor altura y se alcanza a formar un embalse, que funciona como tanque de sedimentación, se construyen en el cuerpo de la cortina uno o varios orificios para desaguar lentamente el agua acumulada. A diferencia de las presas rompe-picos, estas descargas, no se localizan al pie de la cortina sino a una cierta altura sobre el fondo del río.

La función de estas obras consiste en retener parte de los sedimentos que proceden de aguas arriba, y puesto que sus vasos usualmente son reducidos, se construyen varias en cascada. Las presas retenedoras de azolve que tienen poca altura se llenan muy pronto, pero aún así tienen un efecto positivo, ya que disminuyen la pendiente del fondo del cauce y ocasionan una pérdida de carga hidráulica cuando el agua pasa por el vertedor y choca contra el fondo del cauce o el fondo del tanque que se coloca aguas abajo de ellas.

### **j) Canalización o entubamiento de un cauce**

Canalizar, recubrir un cauce o entubarlo con un conducto subterráneo son soluciones técnicamente factibles cuando se tienen bajos niveles de agua en los arroyos o ríos que pasen cerca de una zona urbana. La función de cualquiera de estas soluciones, consiste en conducir el agua a niveles menores que los que se presentan en condiciones naturales o confinarlos. Con ello, se logra reducir las inundaciones y aprovechar los terrenos aledaños a las obras de conducción.

Para canalizarlo se conforma el nuevo cauce y se colocan revestimientos de concreto, gaviones u otro tipo de material de protección en el fondo y orillas del nuevo cauce y se construyen sus puentes y alcantarillas. Por otro lado, si el cauce se entuba y los tubos quedan enterrados, bajo el nivel de terreno natural, esta solución ofrece la ventaja de que, el terreno queda por arriba del entubamiento y se puede destinar para otros usos.

Cabe aclarar que, las obras que se construyen en forma aislada con mayor frecuencia para controlar inundaciones son las presas de almacenamiento y los bordos longitudinales. A estos les siguen los bordos perimetrales, las presas retenedoras de azolve y los desvíos permanentes, aunque en algunas regiones se utilizan también las presas rompe-picos. En nuestro medio, se usan poco los desvíos temporales, el corte de meandros o rectificación de ríos. En cambio, en los arroyos y ríos que atraviesan poblaciones, las obras más frecuentemente utilizadas son las canalizaciones, entubamientos y muros longitudinales.

Por último, en lo que respecta a la selección del periodo de retorno de las obras, hay que considerar que, en algunos ríos al aumentar el periodo de retorno de 100 a 500 años, el gasto asociado a él se incrementa ligeramente, y por lo tanto, al escoger un periodo de retorno mayor, se logra una mayor seguridad con un costo adicional reducido.

Cuando existe incertidumbre en los datos de avenidas de un río que va a ser entubado, es conveniente definir o construir desvíos alternos que pueda tomar el agua excedente sin que cause problemas mayores en las zonas aledañas al río.

## Acciones no estructurales, relacionadas con las inundaciones

Son todas aquellas que no están relacionadas con la construcción directa de obras y que permiten avisar a tiempo a la población que puede sufrir una inundación, así como, el control y manejo de los escurrimientos, cuando ello es factible, para minimizar los daños. Se basan en la planeación, organización, coordinación y ejecución de una serie de ejercicios de Protección Civil que busca evitar o disminuir los daños causados por las inundaciones y pueden ser de carácter permanente o aplicable sólo durante la contingencia.

Cuando una región se empieza a poblar y desarrollar se debe disponer de un plano de la llanura de inundación, en que se limite la zona inundada por una avenida que tenga un periodo de retorno de 100 años, ya que ello ayudará a sentar las bases para el futuro desarrollo, uso de la tierra y otras regulaciones.

Entre las acciones no estructurales se consideran las siguientes:

- a) Diseño, construcción y operación de **sistemas de alerta**, con base en estaciones hidrométricas y climatológicas, imágenes de satélite y pronósticos meteorológicos.
- b) Elaboración o adquisición y manejo de **modelos matemáticos**, tanto hidrológicos como hidráulicos, que deberán ser validados con observaciones previas.
- c) Elaboración de mapas de riesgo por inundación (**zonificación de toda la cuenca**) al delimitar áreas en función de la frecuencia y duración de las inundaciones, o del periodo de retorno de las avenidas.
- d) Elaboración e implantación de **sistemas de seguros** en función del valor de los bienes.
- e) Elaboración de **normas para el uso de suelo**, tomando en cuenta la zonificación de la cuenca.
- f) Elaborar historiales con mapas, fotografías y otras pruebas existentes de las huellas que han dejado otros eventos, en la llanura de inundación, para reducir las pérdidas de tiempo al momento de la inundación.

Por otra parte, es muy importante señalar que, las inundaciones anuales y de gran duración son una limitante para el desarrollo social y económico de las zonas que las sufren, y que pueden abarcar grandes extensiones, sobre todo en zonas muy planas.

Con relación a la economía y magnitud de los daños esperados, conviene distinguir tres situaciones:

- Cuando el río se desborda con mucha frecuencia.
- Cuando el río se desborda con escasa frecuencia, pero conduce agua casi todo el año. En esos ríos los periodos de retorno de las avenidas que producen inundaciones son muy variables, sobre todo si ellas son producidas por lluvias de tipo ciclónico.
- Cuando el río se desborda con escasa frecuencia, pero casi nunca lleva agua, excepto cuando hay avenidas.

En las regiones en que los ríos producen avenidas anuales, prácticamente no hay pérdidas de vidas humanas y son escasas las pérdidas de animales, ya que los

habitantes de la región están acostumbrados a las inundaciones y toman las precauciones necesarias. Los cultivos sólo se pierden si las avenidas se adelantan y ocurren antes de levantar las cosechas.

En cambio, cuando el periodo de retorno de la avenida es grande o se trata de ríos que rara vez se desbordan, o en los que casi nunca escurre agua, los daños son mayores; dado que, los ribereños no están preparados para sufrir inundaciones de gran magnitud, y aún más, muchos de ellos nunca han visto una inundación ni saben que hacer cuando ocurre este fenómeno.

Finalmente, es recomendable que antes de iniciar la construcción de vías terrestres (carreteras, vías férreas, entre otras) se debe determinar la inundación máxima probable en el sitio en particular y la estructura debe ser diseñada por arriba del nivel máximo de inundación.

# Capítulo 3

## Propuesta de alternativas

### 3.1 Propuesta de alternativas

La propuesta de las diferentes alternativas para el control de inundaciones sobre una cierta zona en estudio no debe realizarse antes de haber recopilado la información que establece el capítulo 1 y haber realizado los estudios que establece el capítulo 2.

Esto puede parecer obvio, pero, de hecho, no hacerlo resulta muy común. La motivación para determinar acciones por parte de los tomadores de decisiones frecuentemente es resultado de la propuesta de alguna compañía, institución académica, entre otros; que le oferta “la solución” al problema de inundaciones que presenta la zona. En forma nada sorprendente, si la propuesta es de una compañía constructora, la oferta será para construir una obra civil, como una presa o bordos; si la propuesta es de una compañía especializada en dragado, la oferta será obviamente dragar el sedimento en el cauce para aumentar la capacidad de conducción del mismo; si la propuesta proviene de una institución académica, seguramente será sobre la instalación de un sistema de alerta temprana; sólo por mencionar algunos ejemplos.

Es altamente probable que si comenzamos el proceso con la evaluación de una propuesta específica para ver si en realidad es una solución al problema, estaremos actuando solamente en el interior de un subuniverso de las distintas posibilidades. El proceso debe ser inverso: primero identificar el problema, luego estudiar las condiciones del sitio y hasta después plantear una serie de alternativas que, por sí mismas, o en combinaciones inteligentes pueden resolver el problema. Es entonces cuando debe iniciar la evaluación de cada una de esas alternativas.

Para este momento, en el proceso se deben conocer:

1. Las condiciones topográficas de las zonas en riesgo y de una vecindad suficientemente grande alrededor de ella para la implementación de alguna de las posibles alternativas. Esto, por supuesto, debe incluir a la llamada “llanura de inundación”, que no es otra cosa que la extensión natural del cauce para manejar avenidas poco frecuentes, y esto, en general con mayor resolución vertical que el resto de la zona de interés.
2. Las condiciones de desarrollo de la zona, mapas urbanos, estadísticas de población, caminos y carreteras, infraestructura crítica como escuelas, hospitales, entre otros.



3. La geometría de suficientes secciones transversales del cauce del río hasta tirantes que alcancen lo que se considera la “capacidad de conducción sin desbordamiento”.
4. La definición del periodo de retorno para el que se diseñarán las alternativas de medidas de control de inundaciones a plantear.
5. El gasto (o caudal) que en la sección de interés tiene dicho periodo de retorno de diseño. Observe que esto no es de ninguna manera lo mismo que el inciso 4. El periodo de retorno se decide con base en el riesgo a la vida humana, el valor económico de los bienes que pueden ser dañados, entre otros. El caudal que corresponde a ese periodo de retorno se obtiene de los datos, análisis y estudios, ya sean meteorológicos y/o hidrológicos, planteados en secciones previas.
6. Las áreas que serían inundadas para dicho caudal de diseño, así como los tirantes de agua sobre dichas áreas y, en casos que lo ameriten, las velocidades de flujo que en dichas zonas inundadas se presentarían.

En este capítulo se ilustran diferentes tipos de medidas de control de inundaciones, y se discuten los requerimientos para definir las en su totalidad, sus ventajas y desventajas e inclusive cuestiones como sus posibles efectos aguas arriba y aguas abajo y la robustez de su diseño (entendido como su comportamiento cuando el caudal de diseño es rebasado).

En general, el “programa de control de inundaciones” será una integración de varias de las alternativas, por ejemplo, la que produzca el más bajo costo, o la mejor relación beneficio a costo, etcétera; con base en el estudio comparativo de las diversas alternativas.

## Categorías de alternativas

En general, las diversas alternativas de medidas para el control de inundaciones se pueden clasificar en dos grandes categorías:

1. Medidas estructurales.
2. Medidas no estructurales.

Las medidas estructurales se asocian con obras (en el ámbito de la ingeniería civil) que permiten que el caudal de diseño pueda ser conducido a través de la zona en estudio sin producir inundaciones y pueden manifestarse

de muy distintas maneras. Las no estructurales se asocian con medidas que no intentan darle la capacidad necesaria al cauce a través de obras civiles, sino de minimizar los daños a la población (en sus vidas, pertenencias o actividades) a través de otros medios.

Es posible que alguna de estas medidas no estructurales sí implique una cierta cantidad de obra civil, pero más bien como un accesorio, no como el mecanismo de control en sí. Por ejemplo, el establecimiento de un sistema de alerta temprana puede requerir la construcción de casetas para la instalación de pluviógrafos y limnógrafos telemétricos en la cuenca aguas arriba de la zona en cuestión, pero sigue considerándose una medida no estructural en el sentido de que no intenta modificar las condiciones de flujo sobre el cauce, sino aumentar la información que con respecto a éste tiene en forma oportuna la población.

## El concepto de riesgo

El vocablo “riesgo” se utiliza coloquialmente de muchas maneras y no necesariamente con un significado formal uniforme. En este manual se maneja el concepto como lo hace el Sistema Nacional de Protección Civil de México. El riesgo es la probabilidad de que una cierta magnitud de daño ocurra bajo la presencia de un peligro (o amenaza) de cierta magnitud, dada una cierta vulnerabilidad y exposición de personas, infraestructura, bienes materiales o hasta actividades humanas a dicho peligro o amenaza. La vulnerabilidad es una medida del grado de daño que puede ocurrir a una cierta persona, edificación, obra, bien mueble o inmueble o actividad humana para diversas magnitudes del peligro. La exposición es una medida del grado en el que una cierta persona, edificación, obra, bien o actividad está sujeta a la acción del peligro en términos de su ubicación en el tiempo y el espacio. Así pues, una zona es más o menos riesgosa, no solamente en términos de la frecuencia e intensidad con la que se presenten el peligro, sino también por el grado de vulnerabilidad y exposición que los habitantes, edificaciones, obras, bienes y actividades tengan en dicha zona. En forma genérica se dice que el riesgo es función del peligro, de la vulnerabilidad y de la exposición:

- $R = f(P, V, E)$

En forma ilustrativa, aunque irrealista, la relación funcional se puede simplificar a una simple multiplicación:

- $R = (P) (V) (E)$

Donde las tres variables independientes puedan adquirir valores de 0 a 1. La interpretación de  $P = 1$  sería la total certeza de que un peligro se presentará,  $P = 0$  la absoluta imposibilidad de que dicho peligro se presente. El peligro puede ser, por ejemplo: la afectación de un huracán. Por otro lado  $V = 1$  se interpretaría como la pérdida total del bien ante el peligro definido y  $V = 0$  que el bien es invulnerable a dicho peligro (aún cuando esté expuesto al mismo).  $E = 1$  implicaría una máxima exposición (en el ejemplo del huracán un ubicación directamente sobre la línea costera y  $E = 0$  implicaría una nula exposición (por ejemplo: ante un huracán, el bien ubicado en la Ciudad de México).

Esta forma de expresar el concepto de riesgo muestra que hay varias formas de reducirlo. Una sería reduciendo el peligro (que en muchos fenómenos naturales normalmente no podemos hacer), la segunda es reduciendo la vulnerabilidad y la tercera sería reduciendo la exposición.

Cualquiera de las variables que tenga un valor cero (ya sea que no puede presentarse el peligro, que el bien es totalmente invulnerable a los efectos concretos del peligro o que el bien no está expuesto directamente a los efectos concretos del peligro) hace que el riesgo sea nulo, sin importar el valor de las otras dos variables. En la realidad (que siempre resulta más compleja que los ejemplos en un manual) cada una de las variables debe ser visualizada como una distribución de probabilidad.

Algunas de las medidas de control de inundaciones están orientadas a disminuir el peligro (por ejemplo: aumentando la capacidad de conducción del cauce sin inundaciones), otras pueden estar orientadas a la disminución de la vulnerabilidad (por ejemplo: construyendo con el equivalente moderno de los palafitos en la zona inundable) y otras más reduciendo la exposición (por ejemplo: reubicando a zonas no inundables).

## Medidas típicas de control de inundaciones

En las siguientes secciones se describirán y discutirán diversos tipos de medidas de control de inundaciones,

tanto estructurales como no estructurales. Los puntos a discutir incluirán:

- Tipo de medida (estructural vs no estructural).
- Factor del riesgo que pretende reducir.
- Descripción general y funcional.
- Capacidades y limitaciones.
- Ventajas y desventajas vs otras medidas.
- Evaluación de lo robusta que es la medida.
- Posibles efectos hacia aguas arriba.
- Posibles efectos hacia aguas abajo.
- Concentración de los costos en inversión inicial o gastos de operación.
- Posibilidades de combinación con otras medidas.

## Construcción de una presa aguas arriba

La construcción de una presa de control de avenidas es, al mismo tiempo, la medida más tradicional pero la más difícil de conseguir para controlar inundaciones en las poblaciones aguas abajo. Evidentemente se trata de una medida estructural. Considerando el gasto (o caudal) pico de la avenida como el factor de peligro, ésta es una de las pocas medidas que de hecho se orienta a reducir el peligro. Esto se debe a que, en principio, aún cuando el volumen total que fluyera sobre el río fuera exactamente igual al de la avenida original, la presa tiene el efecto de reducir el caudal pico alargando el tiempo en el que la avenida pasa por el sitio en estudio. Pero en la mayor parte de las condiciones iniciales de la presa, el volumen mismo de la avenida se verá reducido pues una parte de ella (o toda) queda almacenada en la presa.

La condición crítica es cuando la presa ya se encuentra al 100% de su capacidad (o en raras ocasiones a sobrecapacidad) en cuyo caso la avenida de entrada a la presa resulta sólo ligeramente amortiguada por su tránsito a través del vaso. El grado de amortiguamiento depende de las características del vaso y del diseño del vertedor de demasías. Superficialmente, parece la medida ideal, pero la verdad es que también tiene desventajas y limitaciones. Siendo una inversión considerable, es raro que una presa se construya con propósitos únicos de control de avenidas. Aún en los casos en que esa haya sido la principal motivación, los intereses creados por los otros usos que requieren, ya sea almacenar el volumen máximo posible o mantener un nivel mínimo de operación, eventualmente producen presiones en la dirección de

operar la presa de una manera que no es idónea para el control de avenidas.

Así pues, la política de operación requerida para mantener el sitio de interés libre de inundaciones estadísticamente por intervalos de tiempo igual al periodo de retorno puede no cumplirse y con ello bajar el verdadero periodo de retorno de protección contra inundaciones en el sitio de interés aguas abajo.

De tener la ingeniería adecuada, se trata (en el contexto de control de inundaciones en el sitio de interés) de una medida robusta. Cuando el caudal con el periodo de retorno del proyecto de control de inundaciones es rebasado, dependiendo de las condiciones iniciales, el vertedor de demasías puede tener que operar, dejando pasar caudales mucho más altos que los correspondientes al periodo de retorno de diseño en el sitio a controlar las inundaciones.

Por ejemplo, un periodo de retorno para medidas de control de inundaciones podría estar en el orden de unos 100 años, mientras que el periodo de retorno de diseño del vertedor de demasías de la presa puede ser de 10,000 años. En estos casos, se presentarán inundaciones en el sitio de interés, pero éstas no serán peores que las que se hubiesen presentado de no existir la presa.

Para evitar totalmente la operación de la presa de una manera poco conservadora desde el punto de vista del control de avenidas, se puede recurrir a diseños del tipo "rompe-picos" con descargas no controlables pero restringidas en el fondo o en diseños más comunes a dejar el vertedor de demasías libre, sin compuertas.

De todas formas es necesario que los operadores en el sitio de interés estén bien informados sobre las condiciones iniciales de llenado de la presa, sobre todo al rebasar umbrales que sí reducen el periodo de retorno efectivo como medida de control de inundaciones. Este umbral será diferente a lo largo de la evolución del ciclo de lluvias anual y, por supuesto tiene un cierto grado de aleatoriedad.

Es importante evitar la proliferación del mito de que la presencia de la presa puede empeorar las condiciones de inundación, con respecto a las que hubieran ocurrido sin ella, al operar su obra de toma o su vertedor. Este mito es un efecto del hecho de que la población, a lo largo de la vida útil de la presa, tiende a acostumbrarse a un nuevo régimen hidrológico del río que antes los inundaba. Y aquí viene una de las limitaciones y desventajas de

casi todas las medidas estructurales: el que producen un falso sentido de seguridad incompatible con el periodo de retorno originalmente aceptado para las medidas de control de inundaciones.

Esto es, promueven, que la población vaya invadiendo las nuevas zonas que ahora rara vez se inundan. Una medida de este tipo, sin un férreo plan de desarrollo urbano que sí se haga cumplir, puede resultar a largo plazo contraproducente, no solamente desde el punto de vista de riesgo a la población, sino también de un ineficiente uso de la inversión originalmente realizada en la construcción de la presa.

El único caso en el que una presa sí puede resultar en avenidas mayores que las que se hubiesen presentado sin ella, es el de su falla abrupta bajo condiciones de un llenado significativo. En estas condiciones el volumen que fluirá por el río será, no solamente el de entrada por la parte aguas arriba del vaso, sino sumado al volumen almacenado en la presa.

En esta rara condición, la solución resulta de un diseño no robusto. Es por ello que debe evitarse a toda costa que estas obras se realicen sin ingeniería, por los propios pobladores. Si existen presas o bordos, realizados al vapor y sin conocimiento, deben inutilizarse abriendo un tajo al centro. Por lo mismo, la población aguas abajo de una presa debe estar incluida en un plan de alertamiento y evacuación en caso de riesgo de falla de la presa.

Los modos de falla de diferentes tipos de presas rebasan el alcance de este manual, pero sí pueden tener efectos dramáticos en la avenida y consecuente inundación aguas abajo.

Una presa tiene efectos importantes hacia aguas arriba, que hoy en día se consideran ecológicamente indeseables: la inundación del valle que forma su vaso, la posible necesidad de reubicar pueblos que quedarían bajo el agua, la descomposición de la materia orgánica que queda bajo el agua con producción de gases de invernadero, la posibilidad de afectar negativamente la biodiversidad.

Además, el vaso mismo representa una fuente de cambio de régimen hidráulico del río aguas arriba del mismo, creando la posibilidad de remansos que pueden propagarse hacia aguas arriba por muchos kilómetros e inundar, ocasionalmente, poblaciones que antes no hubiesen estado sujetas a este efecto. Hacia aguas abajo el efecto más claro es el de la interrupción total del

transporte de sedimentos a través de la cortina y con ello el cambio de condiciones de equilibrio de cauce aguas abajo de la misma.

También interrumpe el libre paso de la fauna acuática a través de ella (salvo en diseños muy especiales) y evidentemente afecta la distribución natural de dichas especies. Esto también puede llegar a afectar el valor de actividades comerciales y deportivas de pesca aguas abajo. Pero a cambio, una presa también presenta múltiples ventajas en otros campos y actividades, las cuales no serán tratadas en este manual.

En cuanto a la inversión, ésta se concentra fuertemente en el gasto de inversión inicial con relativamente menores gastos de operación y mantenimiento a lo largo de su vida útil (en el contexto de control de inundaciones). Ya se han mencionado combinaciones con algunas otras medidas no estructurales. Es importante para los operadores de la medida de control de inundaciones en el sitio específico aguas abajo, comprender que no deben desentenderse de la operación de la presa y que la necesidad de monitorear eventos extremos en la cuenca propia del tramo del río entre la cortina de la presa y la población bajo su responsabilidad sigue existiendo; la presa solo controla la parte de la cuenca aguas arriba de la misma.

## Construcción de bordos marginales

La opción de construir bordos marginales (a lo largo del río y paralelos a la margen del cauce), es muy popular entre las medidas estructurales. En México usualmente los bordos se construyen de materiales térreos locales y por lo mismo resultan relativamente de baja inversión.

Cuando el caudal en un río aumenta la forma natural de conducirlo (salvo en zonas encañonadas o cañadas) es aumentando el tirante y con ello el área hidráulica (la sección del cauce ocupada por agua). Cuando el incremento del caudal alcanza valores que no son muy frecuentes, el incremento de tirante produce que se empiece a utilizar la llamada “llanura de inundación”, una zona típicamente mucho más amplia que el cauce en sí y que tiene una pendiente perpendicular al eje del río relativamente baja. Por ello, incrementos del tirante relativamente pequeños producen la ocupación de áreas muy amplias alrededor del cauce común.

Frecuentemente, cuando esta llanura de inundación ha sido invadida, ya sea por zonas agrícolas o por zonas urbanas (frecuentemente irregulares), entonces denominamos a este fenómeno totalmente natural como una inundación, o usamos el término más dramático “se desbordó el río”. Este último término tiene implícita la idea de que la llanura de inundación no es parte del cauce. En realidad sí lo es, aunque es una parte diseñada por la naturaleza para casos poco frecuentes.

Uno de los problemas más comunes de estas llanuras de inundación, es que las carreteras y caminos que cruzan el río, son construidos con los terraplenes de aproximación a los puentes sobre ellos, de tal manera de minimizar el claro (la parte más cara) del puente en sí. De facto, estos terraplenes de aproximación se convierten en enormes presas (por su longitud, no por su altura) incluyendo al claro del puente que hace las veces de vertedor de demasías.

Ya en la realidad, hoy en día poco natural, existen intereses que promueven que se tomen medidas para que el caudal poco frecuente se conduzca ocupando la mínima área posible en planta, es decir, para construir bordos que permiten que el agua se conduzca con tirantes mayores, pero en un cauce relativamente angosto.

El propósito final es, por supuesto, ocupar los terrenos aledaños al cauce para alguna actividad humana. Mientras exista desnivel suficiente (o pendiente) en el río, esto es hidráulicamente factible, con el efecto secundario de que la velocidad de flujo aumenta, con respecto a la que naturalmente existiría sin bordos; esto por supuesto aumenta la capacidad de erosión del fondo y márgenes del río, para un gasto cualquiera dado.

Puesto que los bordos (en México) raramente son verticales (concreto armado y/o láminas de metal), el periodo de retorno seleccionado, aunque sí nos da el caudal de diseño, no nos da el tirante (o nivel de la superficie libre máximo) de diseño. La geometría del bordo también influye en el tirante. Observe que no se trata de un cálculo estático, en el que escogemos hasta que cota queremos proteger de inundaciones el terreno aledaño al cauce usual y luego colocamos bordos que tengan su corona a dicha altura (más un pequeño bordo libre).

Se trata de un cálculo hidráulico dinámico, en el que tenemos que asegurar que el caudal de diseño podrá ser conducido sin que el tirante rebase las coronas de los

bordos. Entre más se restrinja el ancho del río, más altos tendrán que ser estos bordos. Entre más plano sea el terreno, la pendiente longitudinal del río, menor será la velocidad de flujo posible y más altos requerirán ser los bordos. En el límite, para una pendiente nula, no puede conducirse agua en régimen de flujo uniforme y permanente sino con bordos infinitamente altos. Dado esto, el diseño se convierte en uno iterativo, en el que se establece una inclinación del talud del bordo del lado del río, se calcula la altura que requiere para conducir el gasto de diseño y se verifica la estabilidad del propio talud para diversas condiciones de flujo en el río, desde completamente seco, hasta alcanzando el tirante de diseño.

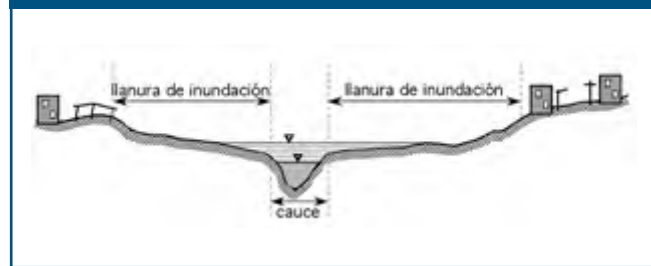
También se estima la amplitud total del bordo y se verifica que las zonas que se desean proteger de inundación no hayan sido invadidas por el mismo. De no resultar estable o invadir la zona que se desea proteger, se reduce la inclinación del talud y se vuelve a iterar. Por supuesto, también se puede jugar con la separación que el pie del talud tenga de la línea que se considera la margen normal del río. Evidentemente, entre más de la llanura de inundación se deje al río, más pequeños tendrán que ser los bordos, pero más área en planta será ocupada por el río.

En este caso, el factor del riesgo que se desea reducir es la inundación en sí, aunque intercambiando éste por un riesgo adicional por el tirante sobre-elevado con respecto a su equivalente natural. La principal desventaja de los bordos marginales es que no resultan un diseño robusto, es decir, no se comportan adecuadamente cuando el gasto en el río rebasa al de diseño, esto para las técnicas de construcción usuales en México (por ejemplo en Japón existen numerosos ejemplos de soluciones de bordos o equivalentes de concreto armado que sí resultan mucho más robustas (como sus barreras costeras contra tsunamis).

Si el tirante rebasa la corona de un bordo, empieza a fluir lateralmente (perpendicular al eje del cauce) en forma similar a como lo haría en un vertedor de cresta ancha, a muy alta velocidad, con muy alto poder erosivo. Al principio, la inundación a la zona protegida puede ser moderada, pero conforme se va erosionando el talud y se le abren tajos, la inundación a la zona protegida tenderá a ser mucho más violenta que en el caso de haber permitido que el río desbordara hacia su llanura de inundación. Más violenta significa más rápido incremento del tirante

y mayores velocidades de flujo, ambos efectos resultando muy peligrosos para la población.

**Figura 3.1. Condiciones naturales de un cauce con niveles de dos caudales distintos**

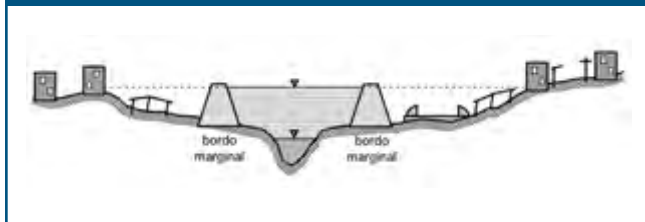


Existe otro efecto indeseable que se da a largo plazo. Bajo condiciones 100% naturales, el agua fluiría por las zonas localmente más bajas en la dirección de la máxima pendiente. De hecho los cauces son las zonas localmente más bajas. Esta condición se ilustra en la [figura 3.1](#), tanto en condiciones normales como en condiciones extraordinarias.

Al construir los bordos permitimos, inicialmente, que la superficie del agua en condiciones extraordinarias quede por arriba del nivel en el que habita la población alrededor del cauce. Bajo estas condiciones, una inundación por rebasamiento del bordo es muy peligrosa. El caso se ilustra en la [figura 3.2](#). Pero, a largo plazo, el problema puede complicarse. Conforme el río se va sedimentando, puede llegar a ocurrir que el fondo mismo del cauce quede por arriba del nivel de habitación de la población alrededor del cauce.

Recuerde que ahora, con los bordos, no sólo restringimos el movimiento lateral del agua, sino inclusive el de los sedimentos. Esta condición se ilustra en la [figura 3.3](#). La gravedad del caso puede captarse intuitivamente si pensamos en que ocurriría al río bajo estas condiciones: si abruptamente se quitara el bordo. Siguiendo las leyes naturales, el agua se movería hacia las zonas más bajas en la dirección de la máxima pendiente. Esto es, ¡se movería hacia la zona habitada en dirección perpendicular al eje del río! No solamente produciría un desastre de grandes dimensiones, sino que no volvería naturalmente a regresar al cauce original; formaría un nuevo cauce sobre la zona habitada, quizá hasta alcanzar una zona en la que ya no existan bordos y el cauce vuelva a ser la zona más baja. Ciertamente, no es el comportamiento de un diseño robusto.

**Figura 3.2. Cauce con bordos con niveles de dos caudales distintos**

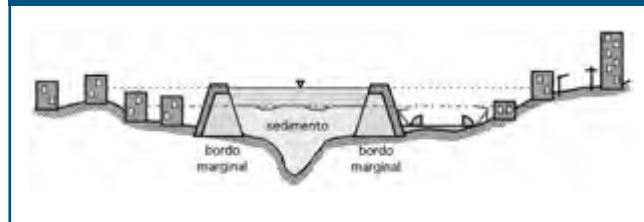


Los bordos de materiales térreos tienden a presentar fuertes problemas de mantenimiento, debido a la tendencia de matorrales a crecer enraizándose en ellos, lo que facilita problemas de debilitamiento del bordo y tubificación. Aunque la solución es de baja tecnología y requiere una inversión inicial moderada, rápidamente se puede convertir en un dolor de cabeza en cuanto a mantenimiento. Si a esto le sumamos una cultura de la física de la naturaleza extremadamente limitada entre la población en general que, por ejemplo, no muestra alarma alguna cuando un vecino recorta un bordo para hacerse un terrenito plano donde construirá su nueva casa y quizá la tumba de su propia familia, la obra en sí resulta extremadamente vulnerable.

Como otro ejemplo, en época de estiaje, cuando el río lleva poco agua, los ganaderos abren boquetes al bordo para que su ganado pueda llegar o cruzar el río a través del fondo mismo. Inclusive, para minimizar el claro de un puente, autoridades diferentes a las que construyeron el bordo, abren ventanas en la parte superior del mismo dentro de las cuales asientan un puente corto que apenas rebasa el nivel del agua bajo condiciones normales (que son las que ellos recuerdan).

Finalmente, los bordos longitudinales producen efectos potencialmente negativos tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo. En el caso hacia aguas arriba, en condiciones extraordinarias el río fluye con un tirante superior al natural previo, por lo que pueden ocurrir remansos que inunden sitios aguas arriba que antes, con el mismo gasto, no hubiesen sido inundados. Por otro lado, hacia aguas abajo, al ser capaz el río de conducir un mayor gasto que el que antes se desbordaba hacia la llanura de inundación, el caudal que arriba hacia zonas aguas abajo es mayor que el que antes de la construcción de la obra. Nuevamente, pueden llegar a ocurrir inundaciones aguas abajo que originalmente no ocurrían.

**Figura 3.3. Cauce con bordos que ya se ha sedimentado**



Los problemas son tantos que, los bordos marginales son sólo recomendables, de tamaño moderado, respetando la totalidad de la llanura de inundación que requiere el gasto para el periodo de retorno seleccionado. Esto es, el mejor bordo marginal es aquél que solo es tocado por el río, estadísticamente, una vez cada  $T_r$  años.

La combinación con otras medidas no es solamente conveniente, sino realmente indispensable. Los bordos en efecto pueden hacer crecer el peligro en el que vive una población una generación después de aquella que (con buena intención) los construyó, mientras hace creer a la misma en su porción aledaña al río que su seguridad está garantizada.

Y para la puntilla, es muy frecuente que el drenaje pluvial (que frecuentemente también es el drenaje de aguas negras) de las zonas urbanas descargue directamente al río, pasando las tuberías a través de los bordos. Bajo condiciones normales el flujo es en la dirección correcta, de la zona habitada hacia el río.

Bajo condiciones extraordinarias, sin la presencia de bordos, la inundación ocurre independientemente de las tuberías de drenaje. Pero, bajo condiciones extraordinarias con presencia de bordos, el nivel del agua dentro del río puede perfectamente alcanzar niveles por arriba del nivel de la calle en la zona habitada. Bajo estas condiciones, las tuberías del drenaje pluvial llevan agua desde el río hacia la zona habitada. La inundación, quizá parcial, de todas maneras puede ocurrir. Evitar esto requiere de compuertas operadas por seres humanos que quizá no lleguen a cerrarlas o enormes válvulas *check* de muy alto costo.

### **Dragado y limpieza de cauces**

El cauce de un río no es un ente estático que permanece invariante en el tiempo. El cauce, bajo condiciones naturales se va erosionando en algunos tramos y el



sedimento se va depositando en otros. Esta variación no solamente se da sobre el fondo, sino inclusive sobre las márgenes.

Evidentemente, esta dinámica resulta inconveniente para numerosas actividades humanas, por lo que en las porciones de intersección de ríos con actividad humana se observan una gran cantidad de esfuerzos (algunos exitosos, otros fallidos) para estabilizar el cauce del río. Especialmente después de una gran avenida, en la que típicamente sedimento arrastrado o suspendido de la parte alta de la cuenca se deposita en las zonas más bajas de la misma. Con ello la capacidad de conducción del cauce se reduce, pues parte de su área hidráulica previa a la avenida ahora se encuentra ocupado por los nuevos sedimentos. Bajo estas condiciones, existe una natural tendencia de los tomadores de decisiones a tratar de regresar al río a sus condiciones previas. La fundamentación racional de un esfuerzo para dragar un río hasta su condición previa a un gran evento depende de si esa condición previa era o no era una "condición de equilibrio" relativamente estable en lapsos de tiempo del orden del periodo de retorno que rige el diseño de las medidas de control de inundaciones.

Por ejemplo, si el evento ocurrido se estima en uno de cada 1,000 años, y la condición previa se estima como se establece en el orden de magnitud de 100 años, entonces un esfuerzo de dragado puede tener sentido en términos de relación beneficio entre costo. Pero si el evento que produjo la sedimentación es uno con periodo de retorno de 10 años, entonces el dragar para permitir el paso de la avenida de  $T_r=100$  años sin inundación parecería un esfuerzo con baja relación beneficio a costo pues, estadísticamente, tendría que repetirse cada 10 años, cuando menos, si no se realiza en conjunto con múltiples medidas que eviten que nuevo sedimento sea transportado al sitio con una alta frecuencia. Y éste es quizá el problema más grave de las medidas de dragado: el que son soluciones temporales que tendrán que repetirse periódicamente.

Esto por supuesto, agrada mucho a los contratistas, que en no pocas ocasiones son los generadores de la propuesta inicial de dragado. Los volúmenes que se manejan no son nada despreciables; aún para ríos relativamente modestos es importante el establecer como parte esencial de la propuesta la parte de la disposición final de los sedimentos dragados. Si esta disposición puede ser en

una actividad productiva, con bajo impacto ambiental, mejor. Dado el problema de disposición de sedimentos del dragado, éste tipo de medida se convierte en una natural para ser realizada en conjunto con obras que requieran de esos sedimentos, como podría ser la construcción de bordos.

En realidad, no se trata de una medida estructural, aunque típicamente se realiza con equipos humanos y de maquinaria similares a los que se utilizarían para obras civiles. La concentración de inversión al principio es alta, pero también requiere de mantenimiento continuo. Un esfuerzo de dragado localizado en un instante en el tiempo, en general, resulta una medida relativamente inútil. Pero es el tipo de obra que le permite a las autoridades correspondientes mostrarle a la población que sí se están tomando medidas posteriores a un desastre.

El apoyo de estudios topográficos y batimétricos, relativamente caros y continuos en el tiempo es necesario, inclusive para dimensionar el costo del proyecto. Tampoco se trata de una medida que se considere robusta, en el sentido de que su comportamiento para caudales mayores a los del periodo de retorno de diseño es muy dudoso. Una nueva gran avenida volverá a ser una gran transportadora de sedimentos hacia aguas abajo, pudiendo dar al traste en unas cuantas horas con el esfuerzo económico de años de trabajo, esto por supuesto, si no se toman medidas adicionales para retener el sedimento en o cerca de su origen. En general, sus efectos hacia aguas arriba no producirán perjuicios a la seguridad de otras poblaciones y sus efectos hacia aguas abajo tampoco se estiman como especialmente graves en este sentido.

Pero tiene limitaciones importantes. Cuando pensamos en dragar pensamos en crear un área hidráulica suficiente para permitir la conducción de al menos el gasto esperado para el periodo de retorno de diseño. Pero de hecho, también estamos modificando la pendiente del cauce localmente. Evidentemente una medida de dragado será finita en sólo un tramo del cauce, casi siempre en la porción que actualmente tiene población o actividad económica en sus márgenes. Pero la pendiente a lo largo del cauce aguas arriba y aguas abajo de este tramo permanecerá sin variación. Por lo que es importante proyectar, para que los empalmes del tramo dragado sean congruentes con las pendientes en los tramos anterior y posterior y funcionen hidráulicamente bien.

Observe que si por sedimentación aguas arriba se presenta un flujo de relativamente alta velocidad con reducida área hidráulica y llega a un tramo dragado donde una amplia área hidráulica está disponible (al menos temporalmente) la velocidad de flujo se reducirá precisamente en la zona dragada, bajando su poder de arrastre y suspensión de sedimentos y por lo tanto depositándolos en la zona dragada. En otras palabras, sin estudios hidráulicos serios, lo que podemos estar construyendo (y pagando por) es una enorme trampa de arena.

Con base en lo anterior se apoya la idea de que el mejor uso para una medida de dragado es para crear cauces piloto que orienten los flujos del principio de la avenida dentro de ellos a velocidades de flujo suficientemente altas para que no depositen los sedimentos que traen en arrastre de fondo y en suspensión, orientando al flujo hacia la parte del cauce natural (incluyendo sus llanuras de inundación) que conviene desde el punto de vista de evitar inundaciones, es decir, facilitar que no fluya, al menos a alta velocidad, sobre las zonas que han sido invadidas con actividad humana.

También resulta razonable el dragar acumulaciones de sedimento que representan una constricción en el río, pues éstas pueden disparar procesos naturales de reencuzamiento (no necesariamente por el cauce piloto deseado). Otra de las limitaciones es la existencia de niveles de agua predeterminados aguas abajo de la zona en la que se toman las medidas de control de inundaciones, sobre los que no tenemos control, por ejemplo: el nivel medio del mar o el nivel de un cuerpo de agua natural o artificial. No importa que tan amplia sea la sección hidráulica potencial que abrimos al río con dragado, si para hacerlo, creamos una pendiente longitudinal demasiado pequeña, nula o inclusive negativa, en la zona de remanso el flujo tenderá, como es natural a extenderse en la horizontal, bajando la velocidad de flujo y con ello re-sedimentando la porción del tramo más cercana al cuerpo natural de descarga del río.

Dos errores son comunes en medidas de dragado. La primera es que se apliquen precisamente en el primer tramo del río en el que éste emerge de una zona encañonada y de gran pendiente, a una zona de planicie costera de baja pendiente; esto porque muchas poblaciones se han desarrollado precisamente ahí. Si pudiéramos ver la zona en cuestión antes del desarrollo de la población, veríamos que el comportamiento del río antes este

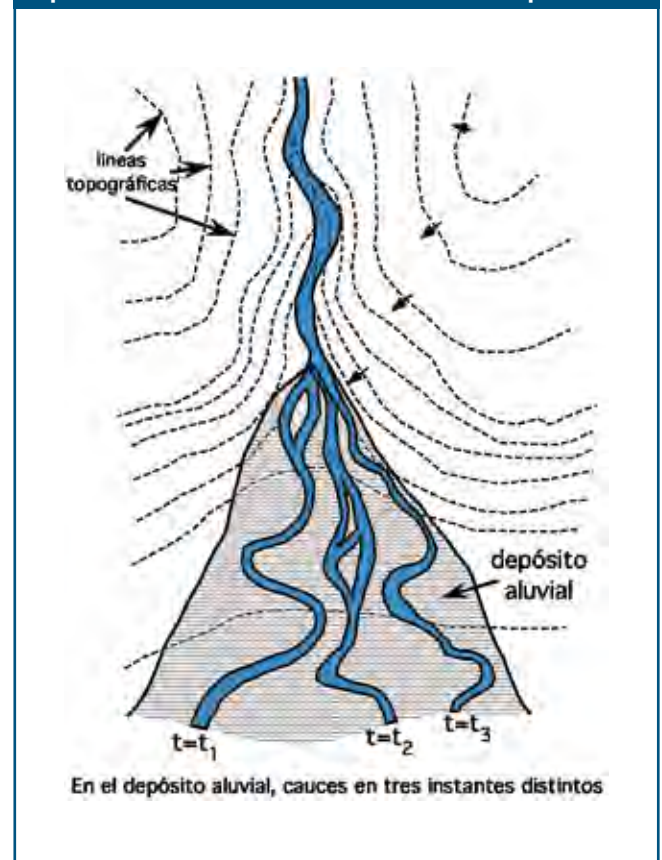
abrupto cambio de pendiente es precisamente el ampliar su área hidráulica en la horizontal, bajando dramáticamente su velocidad de flujo y creando un depósito aluvial en forma de delta.

Con gastos más rutinarios, solo una pequeña porción del delta es usado en cualquier instante, pero el cauce es intrínsecamente inestable. Basta una pequeña avenida extraordinaria para que el río opte por otro cauce sobre el delta diferente.

En otras palabras, el comportamiento natural es de un pequeño arroyo cambiando continuamente su cauce dentro de los límites del delta. Bajo estas condiciones, una medida de control de inundaciones exclusivamente basada en el dragado, probablemente resultará insuficiente para estabilizar definitivamente el cauce del río sobre el depósito aluvial.

El caso se ilustra en la figura 3.4, obviamente, cualquier construcción sobre el depósito aluvial en delta estará bajo riesgo de ser demolida o socavada por avenidas en uno u otro momento.

Figura 3.4. Inestabilidad natural en el depósito aluvial típico al salir de una zona encañonada a una planicie



El otro error común, aún bajo una utilización adecuada del recurso del dragado del cauce, es el suponer que el cauce del río entrará al tramo que se pretende dragar por un sitio preestablecido, ya sea el cauce actual o, alternativamente, el cauce antes de la última gran avenida que motivó el proyecto de dragado.

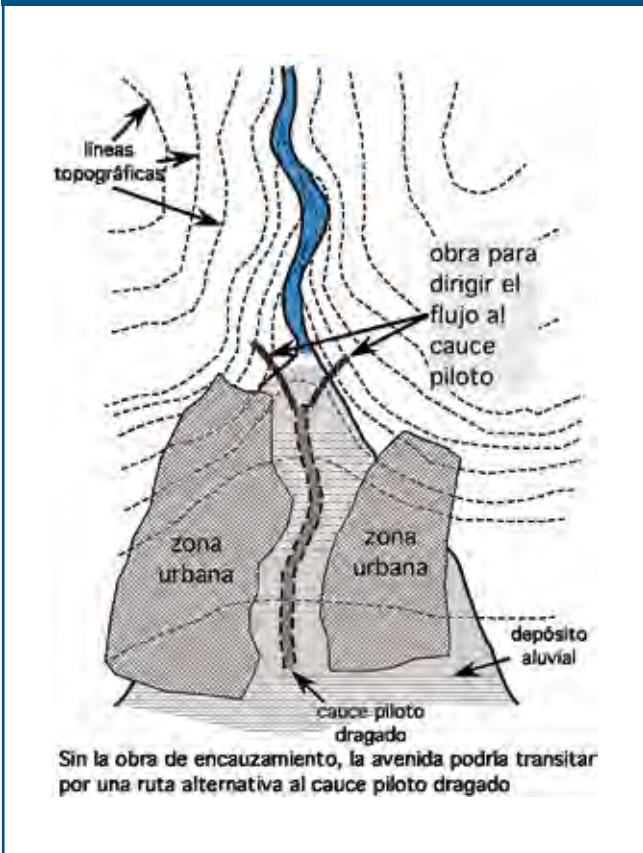
La realidad es que, bajo condiciones extraordinarias de flujo en el río, sobre todo si ya es uno con problemas de sedimentación excesiva en el fondo, el cauce tiende a ser muy inestable y puede oscilar entre varios posibles canales dentro de la llanura de inundación. Esto abre la posibilidad de que desde el inicio del tramo dragado, el agua no fluya entrando al cauce piloto y que todo el proceso de dragado resulte inútil. En estos casos es importante asegurarse, ya sea a través de estudios topográficos muy precisos o complementando el dragado con obras adicionales en su extremo aguas arriba, que el río en efecto entrará al cauce piloto dragado. Se ilustra este problema en la [figura 3.5](#).

Finalmente, algunos comentarios sobre la vegetación que tiende a crecer dentro de los cauces que tienen una porción importante del mismo seco durante casi todo el año o durante varios años consecutivos. El principal problema se da porque esta vegetación aumenta el coeficiente de fricción del cauce y con ello lo obliga a conducir el gasto con un tirante mayor.

En casos extremos se forman islotes que hasta árboles formales ya tienen, los que estabilizan el área alrededor de ellos y con ello se convierten en obstáculos al libre paso del agua en la totalidad de la sección hidráulica potencialmente disponible. Una avenida extraordinaria puede desenraizar y transportar esta maleza, arbustos o árboles aumentando la posibilidad de que terminen atorados en alguna constricción del río, típicamente bajo un puente.

Al final, esto produce un cierto arremansamiento hacia aguas arriba, aumenta el tirante en la sección del puente y, bajo la posibilidad de falla, hace que la onda de inundación producida sea mayor a la que hubiese ocurrido de no haber problemas de maleza y vegetación en el cauce, esto por supuesto propagando el problema hacia aguas abajo. Las decisiones de limpiar de maleza el cauce de un río suelen ser controversiales con la población local por el hecho de que ella puede considerar que la operación impacta negativamente a la ecología y medio ambiente del lugar.

**Figura 3.5. Obras de encauzamiento necesarias aguas arriba de un cauce piloto dragado**

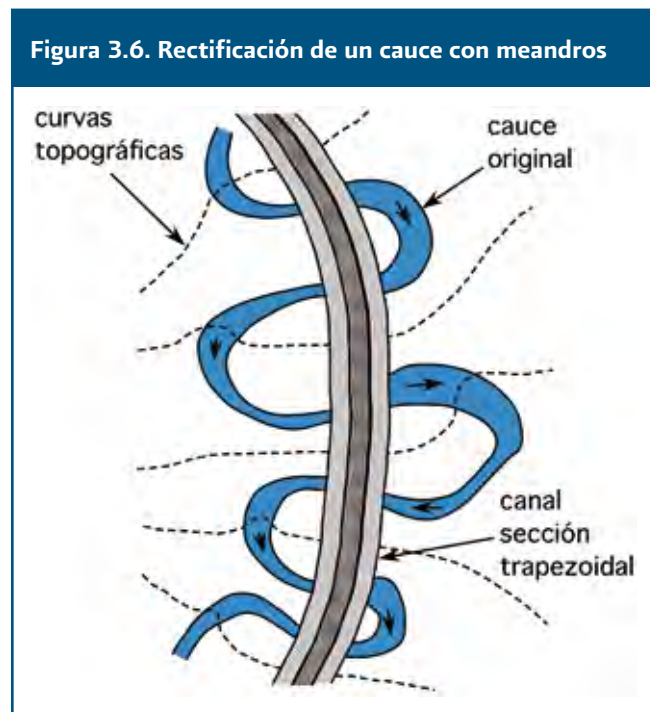


## Rectificación de cauces

Aunque en forma instantánea y puntual el agua tiende a fluir simplemente por las partes más bajas y en la dirección de la máxima pendiente, ya cuando adherimos el comportamiento de los sedimentos y de la erosión natural en las márgenes, el problema se hace mucho más complejo. De hecho, el cauce de equilibrio de un río, uno que tiende a no cambiar para las condiciones de flujo, sobre todo en zonas planas como llanuras costeras, tiende a generar un cauce con una pendiente mucho menor que la máxima posible sobre el terreno. El resultado final es lo que conocemos como meandros, una configuración del río que oscila alrededor de lo que sería el cauce sobre la dirección de máxima pendiente. Pero, evidentemente el recorrido a lo largo de los meandros tiene una pendiente longitudinal menor a la máxima local del terreno. Bajo estas condiciones, para un caudal dado, se requiere de una mayor área hidráulica para conducirlo, ya sea con mayor tirante, con mayor anchura o ambos. Cuando una

zona habitada se establece alrededor de una zona ripariana de este tipo, la inestabilidad del cauce no es del agrado de la población. Algunos terrenos se pierden, mientras otros se ganan, algunas construcciones eventualmente caen al cauce, etcétera. Pero sobre todo, al presentarse un evento extremo, tienden a presentarse inundaciones.

La solución ideal a este problema se sugiere a sí misma ¿Por qué no excavar un cauce en la dirección de máxima pendiente cortando los meandros? Bajo dimensiones iguales del cauce, esta rectificación podrá conducir mayor caudal a igual tirante o, alternativamente, el mismo caudal a menor tirante ¿No es la solución perfecta? Quizá, pero es una solución económicamente costosa, a tal punto que sólo puede ser afrontada por zonas urbanas bien desarrolladas. Dado, que, de dejar los materiales naturales, la tendencia del río sería el volver a llegar a su pendiente y cauce de equilibrio, estos encauzamientos tienen que estar revestidos, tanto en el fondo como en los taludes de las márgenes, de tal manera de no poder ser erosionado. Esta medida se ilustra en forma esquemática en la [figura 3.6](#).



Esta medida, la más estructural de las medidas imaginables, puede presentar problemas en su inicio y final, en donde se empalma con el cauce original, por el cambio

de pendiente, de una menor a una mayor al inicio, y viceversa al final. Dado que la porción previa si tiene fondo y márgenes de material natural, los sedimentos arrastrados por el río tenderán, de todas maneras a depositarse sobre el canal artificial para ciertas condiciones de flujo. Y, como cualquier otra medida que permite conducir un gasto mayor sin desbordarse, las porciones aguas abajo del río pueden verse sujetas a desbordamientos que antes no tenían. Más aún, cuando la zona urbana se extiende, que lo puede hacer a lo largo del canal por haberse reducido la frecuencia de inundaciones, lo único razonable es extender la longitud del canal. Estos canales no se construyen con “llanuras de inundación” puesto que el propósito original era usar el terreno aledaño al río al máximo.

Cuando se presenta un evento extremo cuyo caudal rebasa la capacidad del encauzamiento, la inundación resultante puede ser muy distinta que la original con la presencia de la llanura de inundación, potencialmente más violenta y con flujos de mayor velocidad fuera del canal.

### Identificación y corrección de constricciones en el cauce

Esta medida es evidentemente estructural, aunque en general implica la destrucción de algo, no necesariamente la construcción de una obra.

Las constricciones (reducciones del ancho del cauce) pueden ocurrir por varias razones:

- Puentes de carreteras, caminos, calles o ferroviarios con claros menores al ancho natural del cauce (incluyendo su llanura de inundación).
- Zonas de desechos de construcción o excavación vertidos, por facilidad (e irresponsabilidad) hacia el fondo del cauce.
- Acumulación masiva de basura, destacando llantas y carrocerías de vehículos desechados.
- Restos de obras de protección marginales u obras de estabilización del cauce que con la erosión lateral posterior a su construcción quedaron parcial o totalmente dentro del cauce.
- Ocasionalmente por presencia de materiales naturales extremadamente resistentes a la erosión del agua (roca sólida).
- Derrumbes de las laderas marginales de los cauces.



- Construcción de caminos a lo largo de la cañada del río para evitar cortes y movimiento de tierras significativo al colocarlos sobre la ladera o por la facilidad de cruzar parteaguas por el punto más bajo posible. También puede darse por desecho de escombros y material térreo aún cuando el camino en sí no se encuentre dentro del cauce.

El efecto evidente de estas constricciones es:

1. Remanso hacia aguas arriba que puede producir inundaciones que antes de la existencia del estrechamiento no existían.
2. Aumento del tirante inmediatamente aguas arriba del estrechamiento y reducción del mismo inmediatamente abajo del mismo, creando una zona corta de altas velocidades de flujo y alta capacidad de erosión, pudiendo provocar fallas abruptas, mismas que se comportarán como fallas de pequeñas presas.
3. En el caso de puentes, aumento de la probabilidad de que el agua fluya sobre los terraplenes de acceso no diseñados para ello con la evidente posibilidad de falla.
4. Mayor socavación de las pilas del puente que la que se daría sin estrechamiento.
5. Aumenta la probabilidad de que el agua alcance la cubierta del puente, aumentando súbitamente la fuerza total sobre él con la posibilidad de volcamiento parcial o total del mismo (en forma muy abrupta).

La medida evidente a tomar sería la eliminación de los estrechamientos y la vigilancia posterior para que no se vuelvan a formar. Esto no es fácil en el caso de puentes ya que, frecuentemente, un análisis puramente económico muestra que es preferible construir puentes de claros cortos aunque tengan una alta posibilidad de falla, y luego la reparación de solamente aquellos que la presentan, esto comparado contra la opción de construir todos los puentes con los claros suficientes y congruentes con periodos de retorno de la capacidad de conducción de la generalidad del cauce.

Por supuesto, después de fallar, no existe argumento para reconstruir un puente nuevamente, con una capacidad de conducción menor a la del resto del cauce. Se presenta la paradoja de que, existiendo dos o más puentes, uno o algunos fallan durante una avenida, pero otros no (aunque hayan quedado sumergidos) se obligue al organismo responsable del puente a reconstruir con

un claro y elevación que no restrinja el flujo en el río, cuando el resto de los puentes que no fallaron continuarán siendo restricciones similares al flujo. Es por ello que la normatividad debe obligar a que, al cruce de vías de comunicación con ríos, el análisis no debe ser únicamente el tradicional económico interno al organismo responsable de los puentes, sino también debe incluir (ya sea como costo o no) su efecto en el riesgo adicional al que sujetan a la población aguas abajo, aguas arriba, sobre el puente y por interrupción prolongada de la vía de comunicación. Pero por supuesto debe cumplirse con dicha normatividad.

Aún sin la oportunidad de reconstruir una obra que no ha fallado a corto plazo, existen algunas medidas que pueden mitigar el riesgo de estrechamientos en el cauce por puentes, entre ellas la colocación de drenes bajo los terraplenes de acceso al puente (para dejar pasar agua que ocupa la llanura de inundación) o la construcción de terraplenes de acceso fusibles, que fallan fácilmente y en forma pronosticable, dejando pasar el agua a ambos lados del puente (salvando la parte más cara de la obra) dejando que falle la parte menos costosa de la misma.

Desde el punto de robustez de la medida, es posiblemente la más robusta de todas las posibles medidas de control de inundaciones. Sin importar que el caudal de diseño del proyecto de control de inundaciones sea rebasado, el comportamiento del río será mejor sin los estrechamientos que con ellos. Eliminar los estrechamientos no produce problemas mayores ni aguas arriba, ni aguas abajo, aunque la población en sí puede no estar plenamente consciente de ello. Desde el punto de vista de combinación con alguna otra medida, podría ser incongruente el no incluir siempre la de eliminación de estrechamientos. Por ejemplo, si se construyen bordos marginales, dejando los estrechamientos, el nivel de la corona tendría que ser sobre-elevado aguas arriba y la inclinación del talud estable tendría que ser reducido inmediatamente aguas abajo, en ambos casos, medidas de alto costo.

## Reubicación de zonas habitadas

Esta es la primera de las medidas que estarían orientadas a reducir la exposición, aunque desde el punto de vista de la vida humana, también su vulnerabilidad. Evidentemente la información más importante para la

implementación de esta medida es la correcta definición de las zonas que serían inundadas para el caudal de diseño, quizá en combinación con cualquier otra medida simultánea que modificara esta zona inundada. Por supuesto habrá que definir también los tirantes (y posibles velocidades de flujo) en cada subzona, para definir cuáles son las que verdaderamente requieren reubicación por razones de protección a la vida humana, las que requieren reubicación por daños masivos estructurales, las que requieren reubicación por daños menores a enseres domésticos y muebles y las que la requieren por la dificultad de proveer servicios a la gente que queda “atrapada” en sus casas por inundación con tirantes menores.

Por supuesto, la reubicación de un sector importante de la población es un camino lleno de minas: minas legales, minas normativas, minas presupuestales, minas de no disponibilidad de terrenos propiedad de la autoridad, minas de problemas sociales, minas de contrarrestar los intereses creados con la población en condiciones precarias y riesgosas, inclusive minas de equidad entre la población reubicada y el resto de la población.

Para darle robustez a esta medida, resulta esencial hacer un completo análisis de riesgos de los terrenos destino a donde la población será reubicada. También, por la misma razón, resulta importante establecer mecanismos realistas para que las zonas de las que se remueven a las familias en riesgo, no vuelvan a ser “colonizadas” por población que puede ver en esta maniobra una oportunidad para hacerse de una habitación, riesgosa, pero al fin y al cabo una habitación.

La destrucción de las casas habitación en la zona de riesgo de inundación resulta muy controversial e importantes esfuerzos de comunicación con la sociedad son necesarios para que la medida sea socialmente aceptada. Darle un uso, aceptable para una zona inundable con cierta frecuencia, más allá de simplemente “zona inundable” reduce la posibilidad de una reocupación. Los parques naturales y recreativos de uso para toda la sociedad puede ser una buena opción. Pero debe evitarse que la población interprete que la reubicación fue realizada por razones de crear dichos parques naturales o recreativos. El énfasis debe ser siempre en la seguridad de las familias reubicadas.

Naturalmente, la reubicación de una zona inundable, en principio no debe producir ningún perjuicio para población aguas arriba o aguas abajo del sitio de la reubicación.

Evidentemente tiene una fuerte concentración en la inversión inicial, con gastos operativos más bien restringidos a cuestiones de vigilancia para que la zona inundable permanezca funcionalmente como tal.

## Implementación de planes de manejo de inundaciones (incluyendo evacuación)

Aún cuando una cierta área no tenga ninguna medida que evite que una inundación ocurra, la vulnerabilidad de la sociedad en general (y parcialmente su exposición) se reducen significativamente si ante la amenaza se aplica un plan de manejo de la inundación. Éste depende fuertemente de las características específicas del lugar y no en todos los casos tendrán una estructura idéntica. Pero, algunas de las secciones más comunes serían:

1. Mapas de zonas a quedar inundada para diversos caudales previstos en el río. Se acostumbra montar sobre fotografías aéreas o satelitales georeferenciadas como “manchas de inundación”. Pero más información puede ser superpuesta de forma útil, por ejemplo isolíneas del tirante esperado dentro de las manchas y/o velocidades de flujo calculadas (con modelos hidrodinámicos numéricos, por supuesto).
2. Relación de autoridades locales encargadas de realizar distintas funciones, con diversas formas de localizarlos en forma emergente.
3. Zonas que requieren evacuación para diversos caudales en el río; zonas hacia donde se evacuará (por ejemplo refugios temporales).
4. Rutas de evacuación que se utilizarían entre las zonas descritas en el inciso (3). Éstas deben contar con verificación de que, para los caudales correspondientes, permanecerán sobre el nivel del agua en todo su desarrollo. Alternativamente se puede marcar en que lapso de tiempo después de la alerta dejarán de ser útiles por quedar inundadas. En principio deben ser rutas desde zonas bajas hacia zonas altas aproximadamente perpendiculares a las isolíneas topográficas.
5. Disponibilidad de recursos para el manejo de la emergencia, en ubicación, cantidades, estado de operación, responsables, formas de comunicación, riesgo de quedar aisladas por la propia inundación, etcétera. Como ejemplo casi todos los equipos en los Centros Regionales de Atención de Emergencias de la propia



CONAGUA, o los disponibles en las zonas militares locales, serían de este tipo.

6. Instalaciones particularmente sensibles o vulnerables (escuelas, hospitales, habitaciones de personas mayores, personas con discapacidades, entre otras) incluyendo los horarios de operación si resulta pertinente.
7. Cálculo de tiempos necesarios para completar cada una de las operaciones que contempla el plan (evacuaciones, colocación de costalera, cierre de compuertas del drenaje urbano hacia el río), así como instantes predeterminados para realizar ciertas maniobras preventivas, como corte de energía eléctrica, aseguramiento de instalaciones de distribución de combustibles, entre otras.

Un plan de manejo de emergencias (en su capítulo para inundaciones) es una medida que prácticamente debería elaborarse en conjunto con cualquier otra medida de control de inundaciones de las distintas opciones aquí presentadas. También es una medida que no necesariamente está anclada a un solo caudal de diseño con un solo periodo de retorno. El plan puede contemplar caudales desde menores que el de diseño hasta mayores que el mismo. Resulta relativamente independiente de las zonas aguas arriba y aguas abajo, no produciendo efectos perjudiciales o benéficos ni en una ni en otra dirección del río. Resulta relativamente de bajo costo inicial (comparada con otras medidas), pero requiere una constante actualización, conforme las autoridades cambian, las condiciones de urbanización cambian y otras medidas de control de inundaciones locales, aguas arriba o aguas abajo son implementadas.

## Sistemas de alerta temprana

La frase “sistema de alerta temprana” está siendo usada para todo tipo de sistemas que avisan con oportunidad a la población sobre condiciones adversas, inclusive aquellos que están basados en modelos (vs medición de la realidad) o estimaciones, no sólo para condiciones peligrosas para las que queda poco tiempo para reaccionar, sino inclusive para alertas climatológicas (por ejemplo lo que podría ocurrir en promedio la próxima estación de lluvias). En este manual nos mantendremos en el más estricto sentido tradicional, sistemas automatizados que

alertan de condiciones peligrosas inminentes para las que queda poco tiempo para tomar acciones que mitiguen los efectos del peligro previsto.

Aunque puede llegar a implicar la construcción de alguna obra civil y el establecimiento de cierta infraestructura, no se considera una medida estructural, dado que su propósito es el de reducir el riesgo al que estarían sujetos los afectados por el peligro a través de información oportuna, quitándole la sorpresa al evento extremo. Aunque están basados, al menos parcialmente en mediciones en tiempo real, genera pronósticos a corto plazo aprovechando los tiempos que transcurren entre la ocurrencia (o el inicio de la ocurrencia) de la lluvia y la llegada del pico de la avenida al sitio en cuestión, y/o el tiempo de tránsito de la avenida desde el sitio en el que es medida hasta el sitio a alertar en cuestión.

En general se basan en una red de pluviómetros y limnímetros digitales, en ambos casos de operación automática y con telemetría de algún tipo (transmisión de la información a un sitio de concentración remoto) en tiempo real. En dicho sitio, una computadora concentra los datos de lámina de precipitación en la cuenca y de nivel de la superficie libre del agua en las corrientes alimentadoras del río que pasa por el sitio a alertar. Ingiere estos datos en un modelo lluvia-escurrimiento y tránsito de avenidas, comparando los caudales pronosticados contra ciertos umbrales que disparan diferentes niveles de alertamiento.

Es común que no usen valores numéricos no siempre comprensibles para las autoridades locales, sino niveles conceptuales de peligro al estilo de los colores de un semáforo. Por su naturaleza misma, no se trata de un modelo que se corre una sola vez cuando se detectan lluvias o incrementos en el nivel de las corrientes aguas arriba, sino de modelos que corren continuamente. En nuestro medio, esta característica tiende a ser su mayor debilidad, por nuestra propensión a utilizar los equipos para otras cosas durante la temporada de estiaje. Paradójicamente, es en esta época cuando más importante sería contar con el sistema funcionando, pues en dicho momento es en el que la población menos espera un evento hidrometeorológico extremo.

Pero un sistema de este tipo no tiene que estar restringido a mediciones directas en tiempo real, puede también alimentarse de sistemas de estimación de lluvia con base en imágenes de satélite, radar meteorológico y hasta modelos de pronóstico numérico del estado del

tiempo. Alimentar los modelos de cuenca con este tipo de datos aumenta la oportunidad con la que el modelo puede alertar sobre una posible situación de emergencia, aunque el grado de incertidumbre de los resultados con este tipo de estimadores de lluvia es mayor al de las mediciones directas. Esto no implica perjuicio alguno, pues eventualmente las condiciones estimadas con alta incertidumbre pero gran oportunidad, serán comprobadas o desmentidas con las mediciones reales directas y los resultados pueden ser corregidos. El lector podrá identificar con facilidad que solamente las computadoras modernas tienen suficiente velocidad para poder hacer todo este cálculo en forma continua y con suficiente resolución y horizonte de pronóstico.

Se requiere de una inversión inicial bastante concentrada, aunque en general mucho menor que la que requieren las medidas estructurales. También se necesita establecer un mecanismo formal de operación y mantenimiento, por personal que tenga los suficientes conocimientos técnicos, típicamente por arriba del que requieren los usuarios o beneficiarios del sistema de alerta temprana para explotarlo con utilidad. Por ejemplo: si una institución académica o de desarrollo tecnológico lo implanta, será conveniente establecer contratos periódicos con la misma institución para asegurar su correcta operación.

Uno de los mecanismos más exitosos para que los sistemas se mantengan funcionando de administración a administración, es que la población esté muy consciente de su existencia y de su utilidad potencial. Una de las formas de lograr esto es la prueba operativa del sistema en forma obvia para el público semanalmente (al estilo de los llamados simulacros). De esta manera, al cambiar la administración a una nueva que no muestra pasión alguna por la operación del sistema, será la población la que se lo exija.

Algunos sistemas adhieren al final de la cadena un sistema sonoro de alerta, ya sea en forma de sirenas, magnavoces que transmiten mensajes de voz sintetizados por una computadora o pregrabados digitalmente por una persona. Pero siempre es importante que un ser humano bien capacitado filtre los resultados antes de disparar una alarma directa al público completamente automática. Hoy en día, no es tan difícil la implementación de esto, pues el operador puede ser localizado

automáticamente por el sistema vía un mensaje de texto a su teléfono móvil.

El operador puede decidir ir al centro de procesamiento a ver la información directamente o puede disparar la alarma vía una llamada telefónica a un número preestablecido, marcando posteriormente una contraseña. De todas formas es conveniente que el sistema tenga la opción de configurarlo para operación completamente automática de tal manera de no inutilizar el 100% del sistema simplemente porque el eslabón humano no estaría presente o atento. Por supuesto, que tiene sentido que el centro de procesamiento se encuentre en un sitio donde de todas formas hay guardias 24 horas al día, 365 días al año. Éste puede ser una oficina local de Protección Civil, la estación de bomberos local, entre otros.

Evidentemente un sistema de alerta temprana no puede tener efectos perjudiciales ni hacia aguas arriba, ni hacia aguas abajo. En todo caso, aunque optimizado para el sitio en cuestión, puede ayudar en el alertamiento de comunidades en ambas direcciones del río pertinente. Es importante que una vez alertada, la población sepa que hacer. Esto hace casi una necesidad que cualquier sistema de alerta temprana vaya acompañado de algún tipo de plan de manejo de emergencia por inundación, descrito en la sección anterior. También es importante recordar que un diseño robusto es uno que resulta resistente a la condición de lluvia que dispara el evento de inundación. Si la telemetría de pluviómetros y limnímetros es vía microondas, muy atenuada por las gotas de agua a lo largo de la trayectoria desde el transmisor hasta el receptor, será necesario asegurar distancias suficientemente cortas o potencias suficientemente altas, inclusive para intensidades de lluvia extremas. El *software* también debe "saber que hacer" cuando una de las partes de los datos medidos que está esperando no llega. El sistema debe operar aún en dicho caso con la información disponible, pero debe alertar a su operador sobre esta condición anómala. Los medios típicos de transmisión de estaciones meteorológicas automáticas vía satélite GOES (atractivo por ser gratuito) no es una buena opción para este caso, porque la información no puede transmitirse en verdadero tiempo real.

La instalación y operación de los sistemas de alerta temprana está a cargo de la CONAGUA, y de los gobiernos estatales y municipales.

## Planes de desarrollo urbano racionales, implementables e implementados

En principio un plan de desarrollo urbano no debería ser una medida de control de inundaciones, sino una parte rutinaria del trabajo del gobierno local de cualquier municipio o comunidad. Pero en el contexto de prevención de inundaciones, las zonas hacia las que se extenderá en el futuro una población resultan de suma importancia en términos de reducción en la vulnerabilidad y exposición. Claramente, los conceptos generales sobre planeación urbana rebasan por mucho el alcance de este manual. Pero en términos de riesgo de inundación, los criterios a seguir serían similares a los que aplican para la reubicación de habitantes en zonas frecuentemente inundables.

Existen varios problemas constantes en nuestro medio al respecto. Si el lector pregunta a casi cualquier presidente municipal de México que es lo que identifica con una administración exitosa, una fracción mayoritaria de ellos contestarán que el desarrollo de la población (en términos de extensión de la misma), como un símbolo de prosperidad de la comunidad. Pocas veces el énfasis será sobre mejorar la calidad de vida de la población existente en la zona ya urbanizada. Por alguna razón, la expansión de la población es “el símbolo” de una comunidad próspera. Bajo estas condiciones, la expansión sobre zonas de riesgo de inundación es frecuente. Las autoridades municipales no han dado mucha importancia al hecho de que desarrollar zonas con seguridad le da calidad de vida (y estabilidad) a la población.

El otro gran problema es el hecho de que, aun existiendo un plan de desarrollo urbano, éste se haga cumplir. En el problema se involucran presiones sociopolíticas creadas por invasión de terrenos y la corta duración de las administraciones municipales. Casi siempre resulta políticamente más conveniente dejar el problema a la próxima administración. La siguiente administración prefiere empezar con una tableta limpia y frecuentemente “regulariza” dichos terrenos invadidos. La solución a este problema puede estar en normatividad que privilegie la seguridad a la vida humana sobre otros muchos asuntos legales, asuntos legales que tarde o temprano saturan aún a la administración que desea, genuinamente, hacer lo correcto.

## Construcción de bordos perimetrales

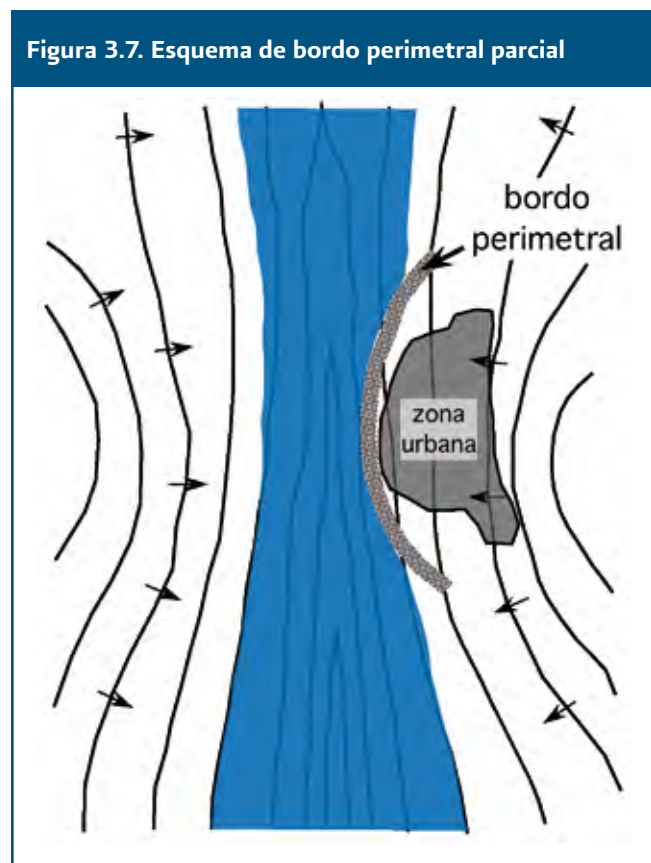
En zonas en las que la población a proteger contra inundaciones es relativamente pequeña, puede ser una opción razonable el construir bordos que, en lugar de seguir la margen del río, sigan el perímetro de la población. Esto puede producir bordos de mucho menor longitud, pero al mismo tiempo es una medida que tiende a limitar el área protegida de la población promoviendo que, de extenderse ésta, no lo haga a lo largo de las márgenes del río fuera de los bordos perimetrales, sino alejado de las mismas con una cota suficiente para evitar inundaciones hasta para periodos de retorno aceptablemente altos. Además los bordos perimetrales dejan libre la mayor parte de las zonas de la llanura de inundación aguas arriba y aguas abajo de la población protegida. Es importante observar que bajo condiciones topográficas usuales en los valles de ríos, los bordos de este tipo ni siquiera requieren ser verdaderamente perimetrales, sino solamente anclar sus extremos a una cota suficientemente alta lejos de la margen del río, lo que se ilustra en la [figura 3.7](#). También es importante recordar que si un bordo evita el paso del agua sobre el cauce hacia el interior de la población, también evitará el flujo de la precipitación en el interior de la población hacia el río, por lo que sistemas de drenaje especiales, quizá con bombeo se pueden hacer necesarios. Aunque los efectos aguas arriba y aguas abajo de este tipo de bordos es usualmente menor que los de tipo marginal, es importante asegurar que no se convierte en una constricción sobre el cauce.

## Diseños de construcción resistentes a inundación

Para zonas con alta frecuencia de inundaciones, que por una u otra razón ya no es posible reubicar, uno de los caminos a seguir para mitigar los daños repetitivos que se tienen por inundaciones, es similar al que se utiliza en el caso de otros peligros naturales para los cuales no se puede nulificar la exposición, como en el caso de los sismos: se construye de manera tal que la vulnerabilidad al peligro sea reducida hasta alcanzar un nivel aceptable de riesgo.

Siguiendo la idea de que la medida de control de inundaciones está diseñada para la inundación producida por el caudal correspondiente al periodo de retorno

seleccionado, requerimos definir la extensión de la misma, el tirante (profundidad) de la misma en cada sitio en dicha zona y si resulta posible las velocidades de flujo que se presentaría en cada sitio de la zona (en muchos casos será casi nula). Así pues, el ideal será construir edificaciones que sean totalmente invulnerables a estas condiciones de tirante y velocidad de flujo. La idea no tiene nada de nuevo. La humanidad ha usado este concepto en muchos sitios a lo largo de la historia, tanto así que existen edificaciones que se encuentran en sitios donde el terreno está bajo el agua el 100% del tiempo, conocidas como *palafitos*.



La medida más evidente es el construir el primer nivel útil de la edificación por arriba del nivel de inundación que se definió para el sitio en el que está ubicada la edificación. Esto no implica necesariamente que en el nivel del suelo local no exista nada pues puede ser utilizado como estacionamiento, como espacio de esparcimiento familiar, etcétera. Incluso puede llegar a haber mobiliario, siempre y cuando este mobiliario pueda ser colocado arriba del nivel de inundación de diseño rápidamente. El colgar los

muebles del techo con cuerdas era una costumbre muy difundida en el México antiguo, al menos en zonas con inundaciones frecuentes.

Este espacio a nivel del suelo puede inclusive tener paredes, siempre y cuando las velocidades de flujo previstas en el sitio no sean altas, pues estas paredes producirían fuerzas laterales sobre la edificación que la podrían colapsar (o hacer fallar a dichas paredes). Por supuesto que el colocar una edificación sobre columnas que lo elevan al nivel necesario aumenta el costo de la construcción, contra lo que sería el costo de montarla directamente sobre la cimentación a nivel del suelo. Pero en áreas de inundaciones frecuentes, el ahorro en daños frecuentes puede pagar rápidamente esta inversión adicional.

Otra posibilidad (en conjunto o en forma independiente a la anterior) es el evitar daño a las instalaciones de servicio en la edificación. En general las tuberías de agua, de drenaje o de gas no son sensibles a daños por inundación. Pero las instalaciones eléctricas y telefónicas sí son sensibles a daños. Para un negocio (o casa moderna) las instalaciones de conexión a una red de computadoras también son sensibles a daños por quedar sumergidas.

Entonces, este tipo de instalaciones deben quedar arriba del nivel de inundación local de diseño. Esto podría cancelar la posibilidad de que existieran servicios de este tipo al nivel del suelo, sino del primer nivel útil hacia arriba. En otros casos, para la planta al nivel del suelo, las instalaciones eléctrica, telefónica y de red deberán ir colocadas cerca del techo (contra la costumbre normal de ir cerca del suelo). Esto incluye los conductos dentro o sobre la pared por la que pasan los cables, así como los contactos, rosetas, etcétera.

Esta medida no necesariamente garantiza que los habitantes de dicha edificación no tendrán que ser evacuados en caso de una inundación significativa, pues de todas maneras quedarían aislados y con dificultad para recibir los servicios básicos durante una emergencia por inundación (comida, agua, medicinas, entre otros) pero al menos al regresar a sus casas sólo se enfrentarían a una tarea de limpieza y no a la sustitución de gran parte de sus enseres caseros y/o reparación de servicios. Más sobre este tema será tratado en el capítulo "Conviviendo con las inundaciones".

## Retención de sedimentos sobre el cauce o en la cuenca aguas arriba

Este tema está asociado con la sección previa sobre dragado de cauces. Si los sedimentos que eventualmente van a ser depositados aguas abajo en la zona que se desea proteger contra pérdida de capacidad de conducción de caudales por sedimentación, son retenidos aguas arriba, entonces el problema de sedimentación y su solución por dragado no se presentará.

El tema de medidas estructurales para retener sedimentos en la cuenca, evitando la erosión, o si ya se dió la erosión retenerlos en las cañadas en la parte alta de la cuenca, rebasa por mucho el alcance de este manual. Aquí sólo enumeraremos algunas de las estructuras para retener sedimentos en las cañadas. El resto de las medidas se tratan ampliamente en textos sobre manejo integral de cuencas.

De hecho, construir una pequeña presa en cada una de las cañadas de la parte alta de la cuenca sería una forma de detener a los sedimentos de todos los tamaños. Evidentemente también detendría (hasta que se llenara) el escurrimiento líquido en la cañada. Por lo que, sería esencial que las “trampas” de sedimentos no fueran cortinas sólidas, sino suficientemente porosas para permitir el paso del agua. Pero existe el problema de que los sedimentos son de una variedad de tamaños extremadamente grande, desde rocas hasta partículas muy pequeñas como limos y arcillas.

Una forma efectiva de detener a los sedimentos es en forma gradual, como si los estuviéramos pasando a través de mallas para obtener su distribución granulométrica. Primero se construye una estructura muy robusta que detenga las partículas más grandes, como rocas. Si no detuviéramos éstas primero, entonces el riesgo de que destruyan a las siguientes estructuras sería muy alta.

Este filtro de rocas deja pasar a las gravas, las arenas y los aún más finos. Una cierta distancia aguas abajo se construiría un filtro para gravas y todavía más abajo un filtro para arenas. Para detener a las partículas de diferentes tamaños se utiliza una combinación de dos técnicas: la primera es el que los huecos en el obstáculo a través del cauce tenga ciertos tamaños, y la segunda es que la velocidad del flujo disminuya lo suficiente como para no

poder suspender o arrastrar a los tamaños de sedimentos que se requiere detener en ese paso.

Detener en forma eficiente partículas que pueden ser suspendidas en la columna de agua (vs arrastrarlas sobre el fondo) en condiciones de una avenida extrema resultaría prácticamente imposible.

Evidentemente, el problema más grande de estas trampas consecutivas es el de mantenimiento. Si se permite que dichas trampas se llenen completamente, entonces ya no serán efectivos en la detención de partículas de dicho tamaño. Por ello es necesario visitar los sitios de estas trampas con cierta periodicidad (y además inmediatamente después de un evento extremo) y remover el material atrapado. Dado que lo ideal es detenerlos relativamente alto en la cuenca, no es común que existan caminos que permita a maquinaria de construcción llegar fácilmente. Como puede sospecharse, después de algunos años, los gastos de mantenimiento pueden llegar a igualar fácilmente a la inversión inicial de su construcción.

Evidentemente, el paso de sucesivas administraciones en cualquiera de los organismos responsables, aumenta la probabilidad de que se suspenda el mantenimiento de este tipo de estructuras y con ello, unos años después se hagan completamente inútiles. Ciertamente es una mejor solución que los sedimentos no se generen desde la superficie misma de la cuenca.

## Reforestación (o restitución de la cobertura vegetal del terreno)

Dos de las razones por las cuales las cuencas empiezan a producir una mayor cantidad de sedimentos que en el pasado son:

- Deforestación de la misma.
- Cambio de uso del suelo.

En múltiples ocasiones combinadas, pues se eliminan los bosques para obtener mayor área cultivable o de pastoreo. Así que una de las formas de reducir la cantidad de sedimentos que llegan a los cauces, saturando las trampas en caso de que las haya o reduciendo el área hidráulica y con ello la capacidad de conducción de los ríos aguas abajo, es precisamente la reforestación. Las raíces de los árboles fijan al suelo en su lugar, producen tierra vegetal en la descomposición de sus hojas muertas, misma que

adquiere una cobertura vegetal con rapidez y además evita el impacto directo de las gotas de agua sobre el suelo que es una de las razones que separan pequeños trozos del mismo de su superficie.

Pero la reducción de erosión no es la única razón por la que reforestar resulta benéfico como una medida de control de inundaciones. La existencia de un follaje denso cambia de manera importante la dinámica del proceso lluvia-escurrimiento con respecto al que ocurre sobre suelo descubierto o con cobertura vegetal muy dispersa. Inicialmente las hojas de los árboles interceptan una importante cantidad de la precipitación inicial no dejando que nunca llegue al suelo y pueda convertirse en escurrimiento. Aún cuando llueva suficiente como para saturar la capacidad de intercepción de lluvia por parte del follaje se retrasa su llegada al suelo y con ello aumenta ligeramente el llamado tiempo de concentración de la cuenca, que al final reduce el caudal pico de la avenida.

Aún el agua que llega al suelo, sobre el suelo típico de una zona boscosa sufre una mayor infiltración inicial que sobre suelo degradado sin cobertura vegetal, sobre todo si ha sido apisonado por ganado en excesiva densidad. Al final todo se traduce en que el llamado "coeficiente de escurrimiento" (que no es otra cosa que la fracción del volumen de agua precipitado que se convierte en escurrimiento superficial) se reduzca en forma no despreciable, que el tiempo de concentración aumente ligeramente y que al final ambos combinados reduzcan el caudal pico de la avenida que la precipitación produce. Es cierto que estos efectos pueden ser menos importantes en las precipitaciones extremas que nos interesan en este caso que para las lluvias más usuales, pero el final unos cuantos centímetros de decremento en el nivel del río son los que pueden hacer la diferencia entre un evento significativo y un desastre natural. Y quizá la palabra reforestación no es la más afortunada, pues con ella imaginamos grandes bosques de coníferas en zonas montañosas y una fracción relativamente pequeña de la superficie total del país estuvo originalmente cubierta por este tipo de bosques.

Así que deberíamos pensar más bien en la reconstitución de una cobertura vegetal igual o similar a la que originalmente mostraba el terreno ¿Qué pasa con el agua adicional que no se convierte en escurrimiento superficial debido a un follaje denso? Pues una parte tiene una mayor probabilidad de convertirse en infiltración que

realmente llegue a recargar los acuíferos subyacentes. Y la otra parte se convierte en evapotranspiración que recircula el agua a la atmósfera. Esto crea un ambiente más húmedo que promueve que las diversas especies vegetales se propaguen y crezcan más rápidamente. En algunos casos se convertirán en (re) lluvia, pero no necesariamente incrementando la lámina acumulada durante los eventos extremos.

Es importante ser realista en cuanto a la velocidad a la que se puede reforestar una zona en forma sustentable. No se trata simplemente de buena voluntad. Hay que tomar en cuenta las condiciones degradadas del suelo, la falta de tierra vegetal, la profundidad a la que llegarán las raíces, el efecto de la evapotranspiración adicional en la disponibilidad del recurso hídrico, entre otros. Pero se requiere un esfuerzo realizado por el ser humano. Simplemente dejar en paz a un sitio tradicionalmente sobreexplotado desde el punto de vista del recurso suelo, no necesariamente se recuperará a su condición original, o no lo hará a la velocidad que se requiere como medida de control de inundaciones. Muchas de las otras medidas, como dragado de cauces o provocar la sedimentación sobre la parte alta de los cauces no tienen mucho sentido si no van acompañados de un esfuerzo de recuperación de la cobertura vegetal del terreno.

## Aseguramiento y fondos de prevención o reparación

La herramienta más común que la sociedad tiene para enfrenar los costos económicos de los daños producidos por cualquier desastre natural, en el caso de este manual, el de las inundaciones, es la distribución del riesgo entre todos aquellos que están sujetos a él, a través de los seguros. No pretende ninguna reducción en el peligro (o amenaza), ni estadísticamente reduce la vulnerabilidad.

En términos simplistas se trata de una bolsa común en la que todos los sujetos a inundación contribuyen para pagar los daños que los realmente afectados en una manifestación concreta de este riesgo han sufrido. En su más pura aplicación, la prima que una persona o familia paga es igual a la esperanza matemática de los daños que espera sufrir, más una comisión que representa la ganancia de la compañía de seguros correspondiente, ésta justificada por su saber cómo sobre el cálculo del riesgo y la forma



de minimizar la probabilidad de quedarse sin fondos para cumplir con sus obligaciones durante un evento de gran magnitud. En este sentido minimiza la vulnerabilidad económica y puntual de los afectados, a través de cobrarle, en pagos periódicos, lo que se espera que sean sus daños a lo largo de toda su vida.

Los seguros contra inundaciones nunca han sido sencillos, ni necesariamente están ampliamente disponibles. Un ejemplo es el de los EUA, en donde por sí solas las compañías privadas de seguros no proporcionan seguro contra inundación. Fue necesario que el Gobierno Federal de los EUA organizara un esquema en que parte del riesgo lo toma el propio gobierno, para poder reducir las primas a niveles que fueran pagables por el ciudadano promedio de los EUA. Suponiendo que el riesgo por inundación es igual al que existe en los EUA, y los daños también fuera similares, es evidente que la población mexicana típica no podría afrontar las primas. Esto además de la gran tradición fatalista de nuestra cultura, aquella que en forma simplista dice: "pues ya le tocaba".

Si la vulnerabilidad y exposición se redujeran en forma suficiente, reduciéndose con ellos las primas, entonces el aseguramiento de los bienes parece una solución ideal. Pero tiene un problema: el hecho de que el asegurado tiende a tomar más riesgos que el no asegurado, ya que se encuentra protegido contra pérdidas catastróficas. Si las primas de los seguros no se disparan rápidamente al reducirse la ubicación de la edificación al eje del cauce, entonces hasta los económicamente capaces en la sociedad buscarán el terreno más bonito posible, y si está muy cerca de un río, pues ni modo, al fin que está asegurado. De hecho es probable que en muchos de los países desarrollados del mundo, la gran disponibilidad de seguros accesibles probablemente ha incrementado la exposición de sus habitantes a las inundaciones, no la ha reducido.

Un mecanismo que no se ha experimentado todavía, es el de combinar otras medidas de control de inundaciones con la del aseguramiento. Al tomarse una medida que reduce el riesgo, la prima para la población protegida debe bajar. Esto puede implementarse como una reducción efectiva a cada uno de los asegurados (que presumiblemente pagaron por la medida con sus impuestos) o, en forma todavía más interesante, con las compañías aseguradoras cubriendo una parte del costo de implementación de la medida en cuestión. Desgraciadamente, los algoritmos de las compañías

aseguradoras para calcular las primas todavía resultan muy primitivos para permitir una aplicación de estas ideas en un futuro cercano.

Existen otros mecanismos de compensación en caso de daños, donde el Gobierno Federal toma el riesgo y apoya económicamente a la población que sufre daños en sus propiedades por inundación, siempre y cuando no puedan enfrentarlos por ellos mismos. Éste es el caso del Fondo de Desastres Naturales en México, el FONDEN. Pero su sola existencia también tiene un cierto efecto de promover que la población se acerque a los ríos, en vez de alejarse (suficiente) de ellos. Por ejemplo, su existencia, sin reglamentación especial, promueve que las familias construyan sus casas de la forma más económica posible, ciertamente sin considerar opciones como la de subirlas sobre columnas hasta el nivel de inundación esperado con un cierto periodo de retorno.

Pero también existen fondos preventivos, fondos a través de los cuales el Gobierno Federal comparte los costos de tomar medidas preventivas contra los fenómenos naturales extremos, incluyendo aquellos por inundación. Este es el caso del Fondo de Prevención de Desastres Naturales en México, el FOPREDEN. Pero tampoco está exento de promover conductas opuestas a las del fin para el que fue creado. Por ejemplo, le da ventajas a una obra estructural de alto costo contra una medida preventiva de relativamente bajo costo, como una buena planeación urbana, una buena política de hacer cumplir la ley, la elaboración de un plan de manejo de emergencias por inundación o hasta la instalación de un sistema de alerta temprana.

Un municipio que sin el FOPREDEN no hubiese podido construir un bordo marginal para poder fraccionar terrenos que, excepto por su riesgo de inundación, tienen gran plusvalía, ahora sí lo puede hacer. Y lo hace, aunque las otras medidas pudieran haber sido más económicas, más efectivas y podrían haber disminuido de mejor manera el riesgo sobre la población.

### **Normatividad que privilegie la supervivencia sobre la seguridad patrimonial**

Son innumerables los casos de pobladores que violan la Ley de Aguas Nacionales al asentarse en la llamada "Zona Federal" alrededor de los ejes de los cauces, que fue definida en su tiempo, no por razones de Protección

Civil o de Prevención de Desastres, sino como una herramienta administrativa que permite a algunos pobladores no aprovecharse de los recursos hídricos que otros necesitan. En general, aún sumando los 10 metros a cada lado del cauce para la avenida de cinco o 10 años de periodo de retorno, según el caso, se puede decir que las edificaciones inmediatamente afuera de esta zona están protegidas contra inundaciones con periodos de retorno relativamente modestos, generalmente mucho menores que aquellos que se definirían para la toma de medidas de control de inundaciones.

Aún aquellos en la zona federal, normalmente no pueden ser sacados permanentemente de ella por innumerables artificios jurídicos y legales, ya sea porque están amparados contra el supuesto abuso de autoridad de querer preservar sus vidas. Mientras la normatividad existente a todos niveles y en todos los contextos no privilegia la vida humana por sobre todos los otros derechos que los habitantes pueden tener, incluyendo la seguridad patrimonial (pues algunos tienen documentos que demuestran que dichos terrenos son de su propiedad y que lo eran antes de entrar en vigor la Ley de Aguas Nacionales), las ordenes jurídicas de respeto a los derechos de unos cuantos, pueden poner en peligro la vida de muchos.

Un ejemplo de ello es la dificultad de construir bordos marginales de protección cuando estos tienen que pasar, por las características físicas del problema, no por algún capricho gubernamental, sobre el terreno de un particular que no lo desea.

Falta mucho por legislar en México en cuanto a la responsabilidad civil y penal de personas que por acción o por omisión, ponen en peligro la vida de otras personas, ya sea por ignorancia, falta de conciencia o aún con pleno conocimiento. El proceso de toma de decisiones de un presidente municipal sobre la forma de desarrollar su municipio, tendría otras prioridades, si supiera que 20 años después podría tener que reparar daños a familias que los sufrieron o purgar una condena en la cárcel por decisiones que él tomó (o dejó de tomar) décadas antes.

Hoy en día, con los periodos de administraciones municipales de tres años, casi todos están dispuestos a tomar el riesgo por la población bajo su responsabilidad, con una buena probabilidad de que los platos rotos los pagará alguien de siguientes administraciones.

## Construcción de cauces paralelos de alivio

Cuando un cauce natural ya está restringido en cuanto a medidas que se pueden tomar inmediatamente en su vecindad por ya estar urbanizada y se requiere necesariamente aumentar el caudal que se puede conducir sin inundaciones, se puede recurrir a los llamados “cauces de alivio”. Como su nombre lo indica se trata de uno o más (generalmente no más de dos, uno de cada lado del cauce) cauces o canales casi paralelos al principal que se utilizan solamente en el caso de que el caudal rebase la capacidad de conducción del cauce original.

La topografía no siempre permite construirlos, a menos que se recurra a túneles, pues naturalmente, la parte más baja del valle ya está ocupada por el cauce natural y evidentemente estos cauces de alivio tienen que ser capaces de conducir su caudal de diseño por pura gravedad. En general requieren de estructuras relativamente sofisticadas para permitir el desvío de parte del caudal corriendo sobre el cauce natural, que pueden estar basados en compuertas controlables o inclusive vertedores de cresta libre que minimizan las fallas producidas por la ausencia del operador humano a la hora buena.

En general se trata de obras caras y, de usarse muy infrecuentemente, pueden producir problemas similares a los del cauce original en otras partes de la zona urbana. No necesariamente descarga al final de su longitud en el propio cauce natural del que salió. Puede descargar directamente al mar, a un cuerpo de agua independiente del río original, etcétera. De hecho, se pueden llegar a usar como mecanismos para exportar agua de una cuenca a otra cuenca distinta. En algunas ocasiones se pueden combinar con lagunas de regulación que permiten almacenar temporalmente parte del volumen total del agua a transitar por el cauce, hasta que el pico de la avenida haya pasado. Existen tantas posibles opciones como situaciones en la realidad, por lo que no se profundizará más al respecto.

## Sacos de arena

Los sacos de arena, tan socorridos en México, deben ser utilizados solo como medidas emergentes y temporales. Esto cuando las obras permanentes de protección hacen inaccesible la margen del río para su disfrute recreativo por parte de la población local. En estos casos, los

sacos deben estar preparados en bodegas y deben ser colocados bajo planes preestablecidos diseñados por personal calificado que sabe sobre el empuje hidrostático del agua.

El error más común en su colocación es: intentar mantener la margen original, con el trabajo voluntario de miles de pobladores locales, cuando simples cálculos de lo que ya ha precipitado aguas arriba muestran que dichas márgenes serán indefendibles contra la inundación.

Por el contrario, es mucho más eficiente y efectivo el aceptar lo inevitable y colocar las barreras de sacos de arena a una distancia prudente de la margen usual, inclusive usando las edificaciones urbanas muy cercanas al río, como parte de la barrera. La topografía y el uso de las edificaciones urbanas minimiza el número de sacos y de horas-hombre necesarias, produciendo una defensa factible y efectiva contra la inundación que se avecina.

Resulta extremadamente peligroso trabajar en una zona donde el nivel del agua ya es del orden de unos dos sacos de arena más alto del lado del río, que del lado seco de la barrera. Una simple línea de sacos, colocados sin ingeniería, puede fallar abruptamente y poner en extremo peligro a la población voluntaria que trabaja en esto.

## Estabilización lateral de cauces

Algunas de las medidas que se han discutido, parecerían ser similares a la estabilización de cauces, a partir de hacer más resistentes sus márgenes ante la erosión. Sin embargo, por sí misma, esta medida, de no ir acompañada de otras que aumenten la capacidad de conducción del cauce o de reducción de vulnerabilidad o exposición, no es una medida de control de inundaciones. Diversas formas de darle mayor resistencia contra la erosión sobre las márgenes de un cauce es su recubrimiento con materiales no térreos, que van desde el concreto armado, hasta estacado de especies vegetales varias, pasando por roca, llantas usadas, jaulas de alambre rellenas de roca, troncos o tallos de árboles o especies como el bambú, etc. Inclusive se ha llegado a utilizar, con éxito dudoso, carrocerías de vehículos antiguos rellenos de roca.

Es importante considerar, que muchos de los problemas de inestabilidad y eventual erosión lateral de las márgenes, se encuentran también asociados al fondo del cauce, sobre todo durante eventos extremos que soca-

van el pie de las márgenes, haciéndolas frecuentemente inestables y facilitando su falla como talud.

## Conclusión

Se han descrito conceptualmente numerosas opciones de medidas para el control de inundaciones, indicando sus características funcionales principales, así como algunas de sus ventajas y desventajas principales, algunas de sus capacidades y limitaciones y enfatizando efectos negativos que pueden propagar hacia aguas arriba o hacia aguas abajo.

En un programa de control de inundaciones, varias de estas opciones tendrían que ser comparadas y/o sumadas para lograr el propósito de conducir el caudal con el periodo de retorno de diseño sin daños. Se enfatiza aquí el hecho de que la solución tiene que brotar del planteamiento racional del problema y del estudio de las diversas opciones o conjuntos de opciones, no debe ser el resultado de haber recibido una propuesta de una compañía o institución que propone lo que sabe hacer (y quizá, lo único que sabe hacer).

El programa final debe provenir de un problema en busca de soluciones, no de soluciones que andan a la cacería de un problema que resolver.

Finalmente, es importante recalcar que los habitantes de regiones afectadas por inundaciones frecuentes, debe aprender cómo convivir con las inundaciones, de manera que resulten menos dañinas que de costumbre.

# Capítulo 4

## Productos finales

### 4.1 Programa de seguridad de presas, cauces y otras estructuras

#### Seguridad de presas

La Seguridad de presas proporciona el grado de confiabilidad en la estabilidad y funcionalidad de la cortina y obras accesorias de una presa ante el peligro de falla, por incidentes, eventos naturales o ataques inducidos.

Preservar la confiabilidad de las presas desde el punto de vista estructural y funcional es un requisito ineludible e indispensable para atenuar el riesgo de falla de las mismas durante inundaciones, ya que aunque el riesgo de falla de la presa existe con una probabilidad relativamente baja, las consecuencias pueden ser catastróficas.

Por lo anterior, se debe establecer un proceso de administración de riesgos como una herramienta para establecer prioridades de las medidas correctivas, asignar los recursos humanos, materiales y financieros, que permitan ejecutar las acciones para preservar la seguridad

de las presas, y medidas de mitigación de riesgos en casos de falla.

Administrar la seguridad de presas requiere de la coordinación de las distintas especialidades de la ingeniería que intervienen en el estudio, diseño, construcción, mantenimiento, operación y puesta fuera de servicio de una presa, para preservar su confiabilidad estructural y funcional.

El sistema de seguridad de presas comentado en párrafos anteriores, se deberá extender a todo tipo de infraestructura que tenga por objetivo la protección de las personas o sus bienes.

#### Actividades indispensables

Las actividades necesarias para vigilar y preservar la seguridad de la infraestructura de protección son las siguientes:

- Un inventario y expediente completo de cada presa u obra de protección, existentes en una región.
- Inspecciones sistemáticas de presas u obras de diferentes tipos:
  - Inspecciones regulares.
  - Inspecciones especializadas.
  - Inspecciones de emergencia.
- Avisos de alerta.
- Operación del embalse u obra.
- Invasión de embalse.

- Sobre-elevaciones temporales.
- Envejecimiento de obras.
- Insuficiencia de diseño y defectos de construcción.
- Planes de acción ante emergencias.
- Evaluación y administración de riesgos.

## Inventario de las presas existentes en una región

Es indispensable poder contar con un inventario y el expediente completo de las presas existentes en una región. Para lo anterior, la Gerencia del Consultivo Técnico dispone de una base de datos del orden de 4,500 presas con información parcial, que requiere de una actualización permanente por parte de los Organismos de Cuenca y las Direcciones Locales. Cada OC o DL dispone de esa base en sus lugares de origen denominada SISP. Sin embargo, se sabe que existen muchas presas que aun no han sido censadas. Existen formatos elaborados por la Gerencia del Consultivo Técnico para la captura inicial de las presas existentes así como de las nuevas que se construyan.

## Inspecciones sistemáticas de las presas

La inspección de una presa permite mantener una vigilancia permanente del comportamiento estructural y funcional de la misma, detectar oportunamente deficiencias, anomalías o amenazas a su integridad, y lo más importante, identifica posibles mecanismos de falla de la presa. En consecuencia, la inspección sistemática de presas permite corregir deficiencias conforme se detecten durante las evaluaciones de ingeniería (ver Anexo 18).

## Inspecciones regulares

Por lo anterior, el responsable de Seguridad de Presas en cada entidad de la CONAGUA debe ordenar recorridos con una frecuencia no menor de cada cinco años, para revisar la cortina y sus obras accesorias, la obra electromecánica y el embalse, en donde se deben registrar evidencias con fotografías digitales de las deficiencias o anomalías encontradas y registrar datos ambientales, del embalse, de mediciones relevantes y de las modificaciones que ocurran en la presa y en su ámbito geográfico (cuenca, cauce aguas abajo y embalse).

La ubicación de las observaciones, deficiencias o anomalías, debe referenciarse con base en un sistema local de referencia de la presa, establecido mediante cadenamientos a lo largo del eje longitudinal de la cortina o vertedor, con distancias ortogonales respecto al eje longitudinal definido y con las elevaciones en metros sobre el nivel del mar o metros, si se trata de un sistema de referencia local.

## Inspecciones especializadas

En el caso de que se detecte una anomalía en una presa como resultado de alguna inspección regular o por la ocurrencia de un evento extraordinario o una emergencia, se requiere efectuar una inspección especializada por medio de un equipo interdisciplinario compuesto por ingenieros especializados: uno en geotecnia, otro en hidrología o hidráulica, otro en geología aplicada a la ingeniería civil, otro en ingeniería electromecánica, y otro en estructuras, según el equipamiento de la misma. El resultado de este tipo de inspecciones debe ser un dictamen sobre el comportamiento estructural y funcional de la Infraestructura. Durante las inspecciones especializadas se debe verificar también el funcionamiento de los sistemas mecánicos y eléctricos de las compuertas del vertedor controlado y de la obra de toma.

Existen presas que por sus características especiales requieren una vigilancia más frecuente. En ese caso, es indispensable que antes de cada periodo de lluvias se hagan inspecciones a estas presas para detectar posibles anomalías en las mismas. En el caso de que los vertedores de excedencias viertan, también es indispensable inspeccionar esas presas para confirmar su operación segura. El responsable de la presa debe realizar también inspecciones detalladas cuando ocurran modificaciones a la presa, se requiera su puesta fuera de servicio, o por la recomendación de una inspección periódica o de emergencia.

## Inspecciones de emergencia

El responsable de la presa debe efectuar inspecciones de emergencia, cuando ocurra un incidente o un evento extraordinario en la misma, durante o inmediatamente después la ocurrencia de cualquiera de las amenazas siguientes:

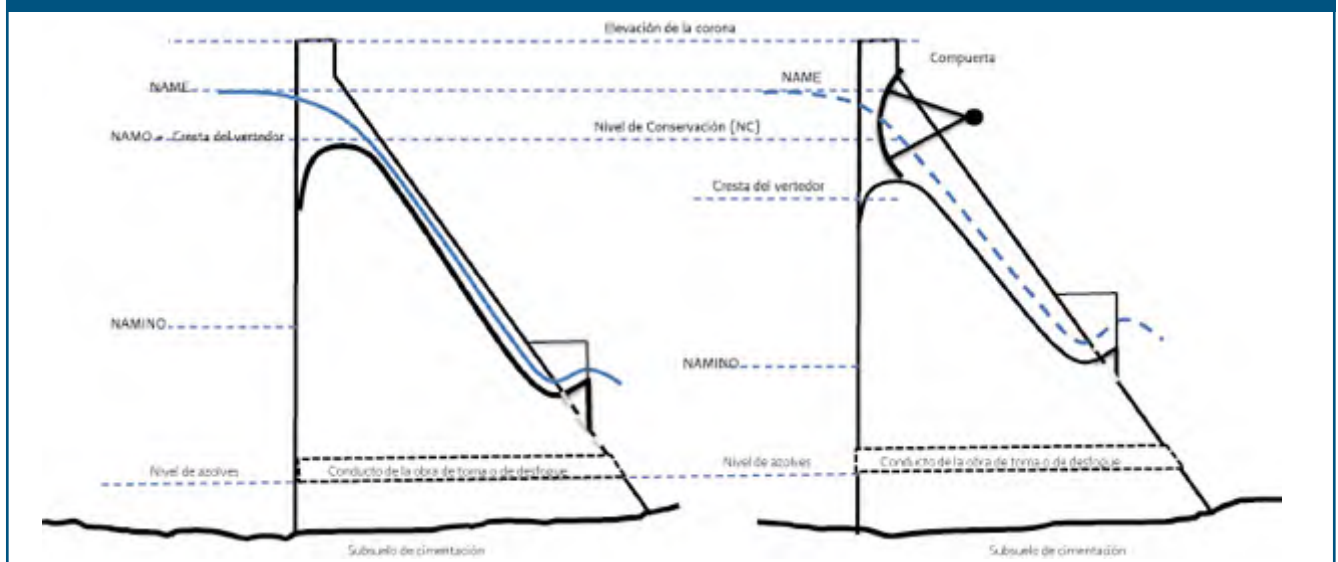
- Sismo severo.
- Un vaciado rápido.
- Influencia de ciclones en el ámbito geográfico de la presa, en particular en su cuenca.
- Funcionamiento deficiente durante la operación de las compuertas del vertedor.
- Funcionamiento deficiente en la operación de la obra de toma de un bordo o muro.
- Decisión errónea en el manejo del embalse.
- Problemas particulares de diseño, condiciones de cimentación difícil, o con problemas de comportamiento estructural y/o funcional dictaminados en un informe de inspección especializado.
- Evidencias de hundimiento regional en el ámbito geográfico de la presa.
- Desbordamiento de la cortina.
- Evidencias de un deslizamiento en el embalse o en los empotramientos de la cortina.
- Durante los siguientes eventos de la vida operativa de la presa:
  - Primer almacenamiento del embalse y los subsiguientes hasta su NAMO (primer llenado).
  - Cualquier descarga del vertedor.
  - Presas con requerimientos especiales de manejo de avenidas dictaminados en un informe de inspección especializado.
  - Construcción de modificaciones o reparaciones a la presa.

El resultado de la inspección de emergencia de una presa es un informe de la evaluación del comportamiento de la misma con base en la información recabada que debe incluir conclusiones y recomendaciones, en el cual se exponen los aspectos geotécnicos, geológicos y estructurales, que influyen en la estabilidad de la cortina y sus obras accesorias, así como los aspectos hidrológicos, hidráulicos y mecánico-eléctricos que influyen en el manejo adecuado del embalse, del vertedor y de la obra de toma.

- **Aviso de Alerta.** Si durante una inspección el responsable de la misma valora o detecta algún peligro de falla en la presa, inmediatamente debe dar aviso de alerta a sus autoridades superiores inmediatas, a las autoridades municipales, estatales, federales, y de Protección Civil.
- **Manejo del embalse(s).** Todas las presas deben disponer de espacio en su embalse para almacenar tanto el agua de demanda regular como el de manejo de avenidas que ingresan al mismo, y de una obra de excedencias para evitar un desbordamiento sobre la corona de la cortina, que puede ocasionar la falla estructural de la misma (figuras 1, 2 y 3).

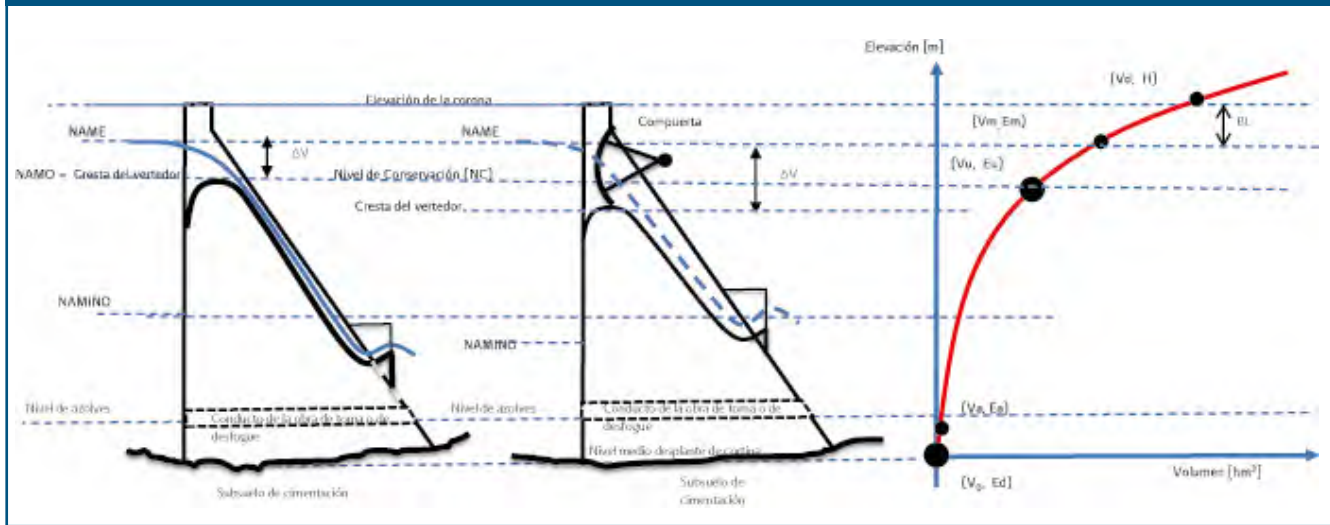
Un eventual desbordamiento sobre la corona de la cortina puede provocar erosión regresiva suficiente para

Figura 1. Conceptos de vertedores de excedencias libres y controlados





**Figura 2. Curva elevaciones-capacidades del tertedor. Representación gráfica de los volúmenes de almacenamiento de agua respecto a las elevaciones topográficas del embalse**



remover, socavar o generar subpresiones indeseables en las terracerías, filtros y enrocamientos que constituyen la presa, así como en el subsuelo de cimentación, hasta desestabilizar y lograr el colapso de la cortina.

En el caso de cortinas constituidas por concreto o mampostería, desbordamientos pueden causar inestabilidad por erosión regresiva o sub-presiones indeseables en el terreno de cimentación o el cuerpo de la cortina, y ocasionar su falla.

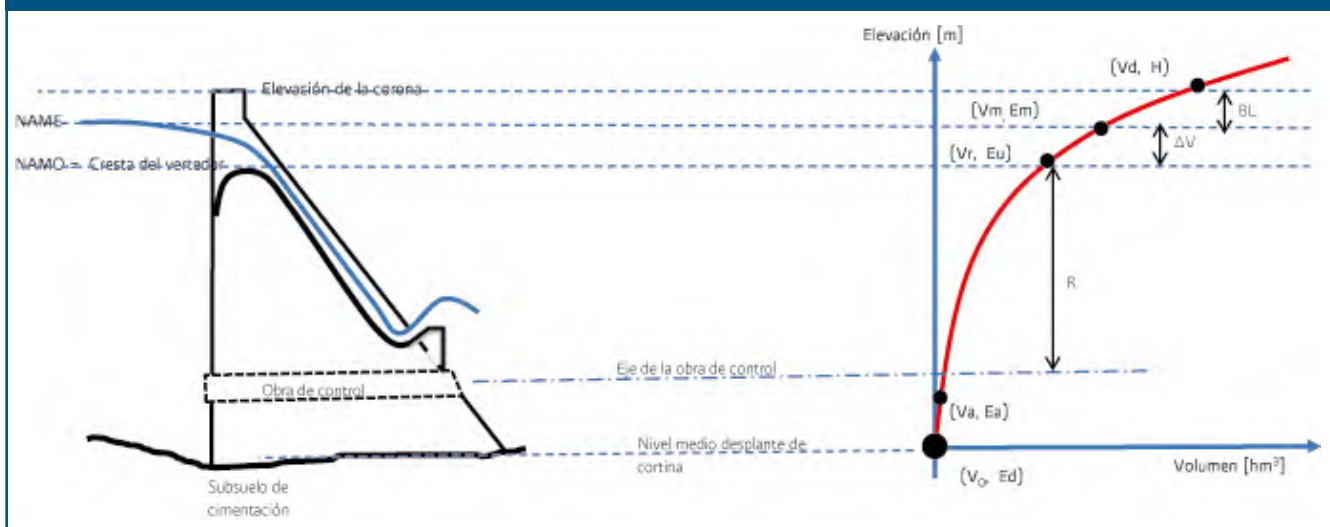
Como consecuencia de los desbordamientos, pueden existir otros mecanismos asociados que son indeseables tomando en cuenta las consideraciones de diseño que

también pueden ocasionar la falla de la cortina como: el incremento de gradientes hidráulicos y filtraciones, cambios de estados de esfuerzos efectivos y por consecuencia deformaciones excesivas o agrietamientos.

Por lo anterior, se considera, que el buen funcionamiento y la seguridad estructural de una presa depende de:

- El diseño hidrológico e hidráulico satisfactorio de la obra de excedencias.
- El manejo adecuado del embalse para satisfacer las demandas de agua no permitiendo la invasión del espacio reservado para la regulación de avenidas que ingresan al embalse.

**Figura 3. Presa de control de inundaciones y su curva embalse-capacidades**



- El manejo adecuado de las obras de excedencias, cuando es controlada con compuertas.
- Pronósticos hidrometeorológicos adecuados durante la temporada de lluvias.

### Invasión de embalses

Así como es frecuente que los cauces de aguas abajo de las presas, se vayan invadiendo gradualmente por la urbanización y construcción de infraestructura y obras en general, sucede lo mismo en los embalses de las presas, lo que ocasiona que cuando ocurran lluvias intensas en la cuenca el nivel del agua sube en el embalse causando daños por inundación en las áreas invadidas. La invasión de vasos impide sobre-elevar una presa para restituir o incrementar su capacidad de regulación perdida por azolves.

### Sobre-elevaciones temporales

Se ha generalizando la costumbre de instalar agujas de madera o la colocación de costalera en el cimacio de los vertedores para incrementar temporalmente la capacidad de almacenamiento para captar “las colas de las avenidas”; es decir, cuando está por iniciar la época de estiaje (generalmente después del 15 de octubre) con el compromiso de retirarlas antes de que se presente la siguiente temporada de lluvias.

Frecuentemente esas agujas o costaleras ya no se retiran, lo que equivale a sobreelevar el vertedor (NAMO), y consecuentemente una pérdida del bordo libre con una reducción de la capacidad de regulación del embalse, poniendo en riesgo de falla a la cortina por desbordamiento. Lo anterior ya ha provocado en varias ocasiones la falla de las presas con la consecuente pérdida de vidas humanas.

### Envejecimiento de presas

Un número importante de presas en operación que fueron construidas en la época de la colonia y en el siglo XIX, en la época de las haciendas, enfrentan diversos problemas de envejecimiento, entre los que se encuentran:

- La pérdida de capacidad de almacenamiento por incremento del volumen de azolves, que sobrepasa el de diseño y en consecuencia provoca incrementos en el estado de esfuerzos debido al empuje del azolve sobre la cortina.

- La degradación de los materiales que constituyen la presa por envejecimiento de los mismos.
- Los cambios en el estado de esfuerzos efectivos por filtraciones no consideradas originalmente.
- El incremento del empuje hidrostático en la cortina por desbordamientos.
- La insuficiencia o carencia de obra de excedencias por falta de información hidrológica en la época en que fueron construidas. Algunas presas construidas en esas épocas fueron dotadas de obras de excedencias pequeñas, que se cerraban con agujas de madera, las cuales se instalaban y nunca se retiraban. Por lo anterior, al ocurrir avenidas extraordinarias vierten sobre la corona de la cortina con riesgo de falla por falta de una protección adecuada.
- Gran número de presas fueron diseñadas con criterios de ingeniería que ya no son vigentes; en particular desde el punto de vista hidrológico, por falta de información suficiente.

En consideración de lo anterior, persiste un gran número de presas, que ya sobrepasaron su vida útil considerada en el proyecto, por lo que pueden tener riesgos estructurales y funcionales. En consideración de lo anterior, son necesarios los estudios de actualización hidrológica-hidráulica. Así como la revisión de los criterios de diseño estructural y funcional de las obras existentes en la presa.

### Insuficiencia de diseño y defectos de construcción

Existen presas construidas sin ingeniería de proyecto por entidades que no cuentan con experiencia ni la capacidad técnica requerida para el diseño y construcción de las mismas. En muchos casos las presas diseñadas y construidas deficientemente fallan o tienen comportamientos estructurales o funcionales inadecuados durante el primer llenado o durante su vida operativa antes de su envejecimiento (un ejemplo son muchas de las presas construidas con el “Plan Benito Juárez”).

### Planes de acción ante emergencias

En las presas siempre existe la posibilidad de descargas ordinarias o extraordinarias por el vertedor de excedencias y en casos extremos (indeseables) la falla de la cortina, por lo que es necesario desarrollar **planes de acción ante emergencias** en las presas en las que

las consecuencias de una falla puedan ser importantes aguas abajo de la misma, con base en mapas de riesgo de inundación para diferentes escenarios de caudal proveniente de la presa, incluyendo los datos de velocidad y tirante y tiempos de arribo de la onda de agua en el caso de una rotura de la presa. Para lo anterior, ya existe un manual elaborado por el USBR traducido al español disponible en la Gerencia de Ingeniería y Normas Técnicas para su obtención y consulta.

## Evaluación y administración de riesgos

Es un análisis de toma de decisiones con base en análisis económico entre los costos de preservación de la seguridad de la presa y los daños de una eventual rotura de la misma. El primer paso es identificar modos o mecanismos de falla de la presa y estimar su probabilidad de ocurrencia; en consecuencia el riesgo se estima como el producto de la probabilidad de falla por el costo del daño correspondiente a las consecuencias que se compara con el costo de las obras de adecuaciones para evitar la falla de la presa. Este tipo de análisis se efectúa en algunas presas que presentan condiciones especiales de riesgo muy elevado.

## Seguridad de cauces y otras estructuras

### Cauces

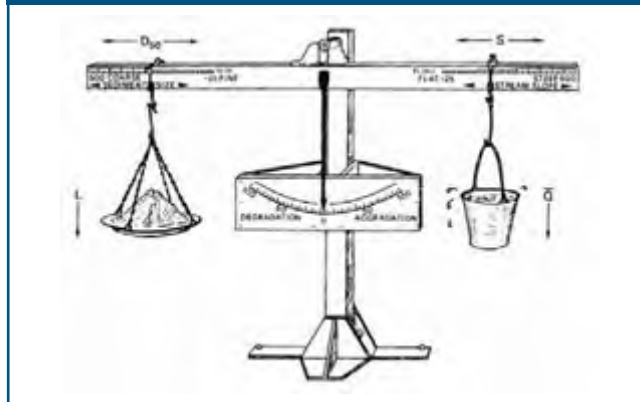
Un cauce es el canal de drenaje natural de los escurrimientos perennes o intermitentes de una cuenca. El comportamiento de un cauce o sistema de ríos obedece a un proceso físico de escurrimientos provenientes de lluvias o del drenaje subterráneo de un acuífero hacia un cauce. Un cauce de un río está sujeto a ajustes permanentes de un equilibrio dinámico natural entre los caudales líquido ( $Q$ ) y sólido (carga de sedimento ( $L$ ), pendiente del cauce ( $S$ ) así como del tamaño medio de las partículas que constituyen la carga de sedimento ( $D_{50}$ ) como se indica en la figura 4, en la balanza de Lane.

Por lo anterior, las acciones y obras de protección contra inundaciones deben respetar los procesos naturales de autorregulación del equilibrio natural que buscan los sistemas fluviales.

Gestionar y administrar el funcionamiento de ríos y sistemas de ríos requiere conocer el funcionamiento histórico del o los sistemas fluviales, datos para diseño

de obras de ingeniería y documentar permanentemente los procesos, en especial los efectos que produce la construcción de presas sobre ellos, conforme se indica en el Anexo 19.

Figura 4. Balanza de Lane. Procesos naturales en el equilibrio dinámico de un sistema fluvial  $Q$ = Caudal,  $L$ = carga de sedimento,  $D_{50}$  tamaño medio del sedimento,  $S$ = pendiente hidráulica del cauce



### Riesgos de inundación

Las lluvias tienen efectos benéficos, sin embargo, también pueden afectar zonas no deseadas debido a su intensidad y la concentración de los escurrimientos. Por lo anterior, es necesario prevenir eventuales incidentes como la falla de una presa, deslizamientos, o inundaciones por avenidas ordinarias y extraordinarias producidas por las descargas de las presas o por desbordamiento de arroyos, ríos y lagunas, o por un drenaje deficiente, que pueda afectar a la población en general y en particular, a la asentada en las márgenes de los ríos.

Los riesgos de inundación se incrementan con la modificación desfavorable del funcionamiento natural de los cauces y sistemas fluviales, ya que muchas veces son alterados por actividades antropogénicas, entre éstas por la construcción de presas, bordos, presas de jales, derivadoras, puentes, vados, cruces de autopistas carreteras, caminos, líneas vitales (tuberías, gasoductos, oleoductos, acueductos) que modifican el régimen natural en unos sitios de manera favorable con beneficios a la población, en otros sitios afectan de manera desfavorable debido principalmente al crecimiento desordenado de la urbanización en zonas sujetas a inundaciones.

Los principales daños a la población son producidos por inundaciones, desbordamientos, deslizamientos y

avalanchas de sedimentos, tanto en las zonas urbanas como en las rurales originadas por insuficiencia hidráulica de los cauces atribuida a obstrucciones por: azolve, obras sin capacidad hidráulica adecuada, basura, invasión de las zonas federales y de protección, y en menor medida por la concentración de lluvias torrenciales o falla de estructuras.

En consideración a lo anterior, es necesario llevar a cabo diferentes acciones preventivas antes de la temporada de lluvias con el propósito de atenuar daños por inundación.

Es necesario establecer una comunicación efectiva y permanente y una coordinación con los sistemas de protección civil estatales y municipales, para revisar los planes de emergencia elaborados por las autoridades federales, estatales y municipales que intervienen en las acciones de protección civil y remediación de desastres naturales, tomando en cuenta lo siguiente:

- Revisar permanentemente los pronósticos del Servicio Meteorológico Nacional sobre precipitaciones y trayectoria de ciclones tropicales, así como de otros eventos que produzcan lluvias y escurrimientos intensos.
- Revisar que los cauces de los ríos y arroyos estén libres de obstrucciones.
- Verificar que los mecanismos de operación de los vertedores controlados funcionen adecuadamente, las plantas de emergencia en presas, plantas de bombeo y demás obras, así como la maquinaria a cargo de la CONAGUA, estén en condiciones de operar normalmente.
- Ubicar y vigilar las zonas en los ríos o encauzamientos que tengan riesgo de erosión, que pongan en peligro de inundación alguna zona urbana o la estabilidad de las márgenes.
- Vigilar las presas o bordos que fueron visitados por el Consultivo Técnico y la Gerencia de Protección a la Infraestructura y Atención de Emergencias (PIAE) y que fueron reportadas con riesgo de falla durante las inspecciones, para detectar con oportunidad situaciones de riesgo y actuar inmediatamente en consecuencia para establecer medidas que eviten el almacenamiento de agua en aquellas con insuficiencia hidrológica.
- Revisar las laderas de los embalses y los empotramientos de las presas para descartar riesgos de deslizamientos.

- Revisar todas las obras destinadas al control de avenidas, en particular aquellas que se encuentren en condiciones de derramar.
- Coordinarse con los comités locales de Protección Civil y sus miembros, para disponer de directorios telefónicos actualizados y realizar recorridos aguas abajo de las presas y en los cauces que crucen poblaciones, para corregir posibles problemas que se detecten, a fin de garantizar la libre circulación del agua.
- Informar oportunamente al gobernador, los presidentes municipales correspondientes y a las autoridades superiores de la CONAGUA, sobre cualquier anomalía en cauces y zonas federales de ríos y arroyos que cruzan poblaciones, que pudieran ocasionar desbordamientos e inundaciones.
- Informar a las autoridades estatales y municipales sobre su responsabilidad en los daños que puedan ocurrir debido al funcionamiento deficiente de aquellas obras, que no cumplan con los requisitos establecidos por la CONAGUA.
- Atender las instrucciones de operación emitidas por la GASIR sobre la infraestructura hidráulica en su jurisdicción; realizar el acopio diario de la información hidrométrica, climatológica y de embalses, y reportarla a las oficinas centrales correspondientes.
- Establecer guardias en sus direcciones para la oportuna atención de situaciones de emergencias hidrometeorológicas.
- Identificar la localización y disponibilidad de bancos de materiales de construcción en la proximidad de las obras con riesgo de desbordamiento o falla, para atender las emergencias.
- Actualizar el inventario del parque de maquinaria y equipo de construcción dentro del área de su jurisdicción, incluyendo los teléfonos y nombres de los responsables.
- Prever la disponibilidad de contratar empresas que dispongan de maquinaria de construcción, para atender las emergencias en su entidad.

## Referencias bibliográficas

- ANGEMA Jean F. *Trends in Hydraulic Engineering Alternative Approaches to Project Planning Land And Water International*, 1991.

- CRUDEN, et al. *Describing landslides in several languages: The Multilingual Landslide Glossary*, 7<sup>th</sup>. International Association of Engineering Geology Congress. Lisboa, Portugal, 1994.
- Gobierno del Estado de Baja California, *Periódico Oficial*. 2 de abril, 1999.
- LAMBE, W. , Marr, and Francisco Silva. *Safety of a Constructed Facility: Geotechnical Aspects*. Journal of the Geotechnical Engineering Division. ASCE Vol 107. GT3, Marzo, 1981.
- National Emergency Training Center, Emergency Management Institute. *Application of Mitigation Strategies for Dam Safety*, ICODS 1998. Technical Seminar #5, Emmitsburg Maryland, 1999.
- PETERS, Jean, J. 1995-2008. *Informes y presentaciones de asesorías en potamología y medición de sedimentos en ríos*. Comisión Nacional del Agua.
- RIEMER, .W. *Landslides and Reservoirs*, Proceedings of the Sixth International Symposium, February 1992.
- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A.C. Ciudades estudiadas.
  - Acapulco. VI. Reunión Nacional de Mecánica de Suelos (RNMS), Tomo1, 1972. Flamand, Ayesterán, Marín, Palacios Y Schmitter; VII RNMS, Tomo II, 1976. J. L. León Torres
  - Tijuana. VII. RNMS, Tomo 1, 1974. G. Rocha; VIII RNMS, Tomo II, 1976, E Santoyo, V. y L Montañés C.; XIV RNMS, Tomo II, 1988. R García F.
- Transportation Research Board, Special Report 247. National Research Council. *Landslides Investigation and Mitigation*.
- WHITMAN R.V. *Evaluating Calculated Risk in Geotechnical Engineering*, 17<sup>th</sup> Terzaghi Lecture, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 110, February, 1984.

## 4.2 Programas ambientales

Los programas ambientales de reforestación, salud y ordenamiento territorial, ecológico de control de inundaciones deben considerar las acciones a realizar, en las cinco fases que suceden en una inundación: previa, alerta, impacto, emergencia y reconstrucción.

Como es conocido, estas fases pueden durar desde unas pocas horas hasta meses o años, y una fase se puede prolongar hasta la siguiente.

### Fase previa a la inundación

Mucho antes de que suceda una inundación, se deben diseñar e implementar medidas de prevención y control. Para el efecto, se deben realizar diversas actividades esenciales para el manejo adecuado de la emergencia, que incluyen el levantamiento de mapas de los sitios específicos de los impactos potenciales, puntualizando los posibles riesgos ambientales asociados; la conducción y elaboración de los análisis de vulnerabilidad; el levantamiento del inventario de los recursos existentes que se puedan captar ante la inundación con el fin de facilitar la rápida movilización de todos los recursos disponibles durante la emergencia; planificar la implementación de las medidas de prevención, preparación y mitigación; conducir la educación y el entrenamiento del personal de los tres órdenes de gobierno y de la población.

### Fase de alerta

Antes de que ocurra la inundación, los tres órdenes de gobierno, deben divulgar avisos de alerta, tomar acciones protectoras y, en caso necesario, evacuar a la población. La efectividad de las acciones protectoras dependerá ampliamente del nivel de preparación de la población.

Durante esta fase, se deben asumir varias actividades esenciales para el manejo de la emergencia, que incluyen la expedición de alertas tempranas con base en las predicciones meteorológicas y la implementación de medidas protectoras basadas en la preparación de la población y en los planes de atención en emergencia.



## Fase de impacto

Cuando la inundación llega, se presentan destrucción, muchas veces heridos y en algunas ocasiones, muertos. El impacto de una inundación sobre la salud humana, las edificaciones y los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento, varía ampliamente según los diferentes factores, como la naturaleza misma del evento, por ejemplo: lo súbito de su inicio y el grado de advertencia dada, la densidad de población, el estado de salud y nutrición antes del desastre, el clima y la organización de los servicios.

## Fase de emergencia

La fase de emergencia comienza inmediatamente después de la fase de impacto, y es cuando de manera prioritaria se debe brindar apoyo y asistencia a las víctimas.

Requiere de las acciones necesarias para salvar vidas que incluyen operaciones de búsqueda y rescate, primeros auxilios, asistencia médica de emergencia, restauración de las redes de agua potable, de comunicaciones y transporte de emergencia, vigilancia en salud pública y, en algunos casos, de la evacuación de las personas de áreas con riesgo de posteriores inundaciones, o de aquellas severamente dañadas y que representan un peligro para sus habitantes.

En el período inmediato después del impacto, la población se encuentra aislada, y muchas de las tareas de rescate más urgentes son atendidas por la propia población, usando los recursos disponibles localmente, ver **foto 1**.

La existencia de planes de atención en emergencia incrementa la autoconfianza y la efectividad de la ayuda, lo cual contribuye a la reducción de la morbilidad y mortalidad relacionada con la inundación.



Foto 1. Tareas de rescate de la población.

## Fase de reconstrucción

Al finalizar la fase de emergencia, comienza la restauración de las condiciones previas a la inundación. La fase de reconstrucción que debe llevar a la restauración de esas condiciones incluye el restablecimiento de los servicios básicos de la población y la asistencia, la reparación y la reconstrucción de las instalaciones y los edificios dañados ver **foto 2**.

Esta fase constituye también el momento para reflexionar sobre las lecciones aprendidas en la reciente inundación, que puedan ayudar a mejorar los planes actuales de preparación para las emergencias.

Esta fase, en realidad, representa el comienzo de una nueva fase. El tiempo que toma la reconstrucción es a menudo difícil de definir, puede empezar muy tempranamente, aún en el período de emergencia, y puede durar años.

Las medidas que se deben incluir en el Programa de Control de Inundaciones, se dividen en estructurales y no estructurales.



Foto 2. Infraestructura dañada.

Las medidas estructurales, consideran la construcción de presas y bordos, se basan en la eliminación del modelo natural de inundación, sin considerar los beneficios que ésta trae, ya que al reducir o eliminar las inundaciones, existe el riesgo potencial de empobrecer la agricultura en los terrenos aluviales, su vegetación natural, la fauna y el ganado y, la pesca del río y de la zona aluvial, que están adaptadas a los ciclos naturales de inundación.

Las medidas no estructurales, tienen el propósito de ordenar y regular el desarrollo de la cuenca hidrográfica, y proteger las estructuras existentes, a fin de



reducir la posibilidad de que sufran daños debido a la inundación.

Al igual que toda medida preventiva, son menos costosas que las medidas estructurales, porque no tratan de regular el modelo natural de inundación.

La filosofía actual en materia de planificación, de políticas públicas y de ordenamiento territorial considera que es mejor mantener los terrenos aluviales sin desarrollo, como áreas naturales de desbordamiento.

Sin embargo, cuando ya existe desarrollo en la zona aluvial, se deben aplicar ambas medidas, debiendo realizar previamente un ejercicio de evaluación entre el costo de las obras de protección y los beneficios obtenidos de la actividad existente.

Para aplicar las medidas no estructurales, debe necesariamente existir ordenamiento territorial y ecológico sobre el uso del suelo y, por lo tanto, ésta medida es una responsabilidad de los tres órdenes de gobierno y se debe planear mediante la fabricación artificial de la probabilidad de sufrir en el sitio en cuestión inundaciones de diferentes magnitudes.

Hay dos opciones para reducir al mínimo las medidas estructurales que pueden causar trastornos ambientales.

La primera consiste en revisar la operación de las presas existentes, aguas arriba, para que proporcionen, por lo menos, un alivio parcial del riesgo de inundaciones; y aplicar las medidas no estructurales, en cuanto sea posible, para reducir ese riesgo.

Si la intensidad y la frecuencia de las inundaciones aumentan debido a los cambios artificiales en la cuenca hidrográfica, se pueden enfatizar las medidas no estructurales.

Donde sea necesario controlar las inundaciones para proteger las estructuras existentes, puede no haber ninguna otra alternativa que las medidas estructurales de protección.

La autoridad pública sobre las cuencas hidrográficas corresponde al gobierno federal, aunque en algunos casos se comparte con los gobiernos estatal y municipal, y sin menospreciar la ayuda de otras instancias, se recomienda que así sea, ya que mientras más difusa sea la estructura administrativa, más difícil será la tarea de lograr la coordinación necesaria entre las áreas técnicas y las políticas.

Sin duda la adopción de un enfoque global para manejar el agua, requiere de profesionales en la planificación y

el proceso de la formulación de las políticas, pero además, se requiere de la participación de ingenieros, economistas, geógrafos, agrónomos, silvicultores, expertos en ganadería y pesca, ecólogos, entre otros.

La idea final es contar con la capacidad necesaria para determinar:

- Las causas, frecuencia y extensión de las inundaciones.
- El efecto real o potencial de los diferentes tipos de desarrollo sobre los niveles de inundaciones.
- La planeación, instalación e implementación de las medidas estructurales y/o no estructurales, que se requieren para controlar las inundaciones.
- La implementación un sistema de alarma temprana.
- Definir las áreas propensas a inundación y tomar las medidas necesarias para impedir el desarrollo que pudiera causar un riesgo de inundación.
- El monitoreo de los cambios que alteren los riesgos de inundación y, también, los efectos de las medidas de control.
- La coordinación de los planes y actividades con otras instituciones que tienen responsabilidad sobre las actividades que ocurren en la cuenca hidrográfica.

Donde las capacidades sean deficientes, se requerirá capacitación para mejorar las destrezas técnicas, administrativas, reglamentarias y de desarrollo de la población.

En las áreas remotas, donde la influencia del gobierno sea débil, se puede estimular la acción a nivel local, trabajando con las estructuras tradicionales de poder y las organizaciones comunitarias, para fomentar los cambios necesarios.

Los factores que influyen en la calidad del agua, la capacidad de los suelos para absorber las aguas, y los daños potenciales que pueden ser causados por las inundaciones, deben ser monitoreados para poder realizar la planeación adecuada del manejo de la cuenca hidrográfica.

Se deben observar cuidadosamente los impactos directos e indirectos de las obras que controlan las inundaciones. Para el efecto, se deben recopilar datos sobre:

- Los riesgos para la seguridad de personas y animales; los problemas para la salud tanto emocionales como físicos; los daños a edificaciones y el paisaje; y la destrucción de los bienes que se encuentran dentro de las edificaciones.

Con la información recopilada y procesada, se deberán cumplir los siguientes objetivos primordiales:

- Minimizar toda clase de actividad en las áreas vulnerables a inundaciones.
- Educar a la población para que adquiera conciencia de no edificar viviendas cerca de los ríos con peligro de desbordamiento.
- Controlar la deforestación y minimizar las fuentes de energía primaria, de manera que sean usadas con moderación.
- Controlar la extracción minera (arena, piedra y cascajo) en los márgenes y dentro de los cauces de ríos y barrancas, así como el control de los tiraderos de materiales de desecho.
- Crear conciencia en las poblaciones de mantener limpios los ríos, barrancas y drenajes.
- Integrar la participación de las instituciones gubernamentales, la empresa privada y la población en general, como factor prioritario e importante en la solución de los conflictos identificados.
- Promover la reforestación, y la recuperación de suelos.
- Evaluar el impacto relativo de la acción humana y las variaciones climáticas sobre la ocurrencia de periodos de inundación.
- Determinar la posibilidad de que el cambio climático esté ocasionando ciertamente aumentos tanto en la frecuencia como en la magnitud de las inundaciones y ciclos secos y húmedos en el área.
- Evaluar la extensión de la degradación del suelo en la región e identificar áreas de riesgo.
- Determinar los impactos sociales y económicos regionales ocasionados por las inundaciones.
- Determinar la necesidad de introducir políticas de cambio de uso de la tierra y otras medidas no estructurales.
- Diseñar medidas que promuevan la disminución de tiempos, frecuencias y áreas de inundación.
- Identificar y definir el conjunto de medidas estructurales, a nivel de anteproyecto, aptas para mitigar los problemas de las inundaciones, calificándolas y priorizándolas conforme a criterios de evaluación técnicos, sociales, económicos, financieros, institucionales y ambientales.
- Formular medidas no estructurales de mitigación en etapas tales como ajustes o cambios en las normas ambientales y de uso del suelo, ordenamiento territorial y ecológico.

- Manejo de emergencias y otras acciones, y propuestas para el mejoramiento institucional de los tres órdenes de gobierno, incluyendo el diseño y puesta en marcha del Programa de Control de Inundaciones.
- Propuesta de modificaciones de leyes, reglamentos y normas para la introducción de medidas y adaptaciones específicas para el manejo de las inundaciones.

## Evaluación del riesgo ambiental

En ciencias ambientales se denomina riesgo ambiental a la posibilidad de que se produzca un daño en el medio ambiente ya sea debido a un fenómeno natural o a una acción humana.

El riesgo ambiental representa un campo particular dentro del campo más amplio de los riesgos, que pueden ser evaluados y prevenidos.

El riesgo resulta del producto de dos factores: la probabilidad, que puede ser muy baja, próxima a 0, o muy alta, próxima a 1, una probabilidad 1 significa que la inundación se va a producir con seguridad y la magnitud del daño ocasionado por la inundación que puede ser inmensa o despreciable.

Por citar un ejemplo, la probabilidad de un impacto por un asteroide de 10 o más kilómetros de diámetro es bajísima, pero sus consecuencias previsibles incluyen la destrucción de la civilización y la probable extinción de la especie humana.

En el extremo opuesto, la probabilidad de que ocurran inundaciones por el río Grijalva es tan elevada, que hay la práctica seguridad de que se va a producir cada año; sin embargo la población está tan adaptada a este tipo de sucesos que sus consecuencias son muy limitadas si se comparan con sus dimensiones.

Sin embargo hay que ser muy objetivos al evaluar la opción de seguir utilizando los terrenos aún a pesar del riesgo de inundación, contra los perjuicios causados por la misma, ya que hay algunos elementos que son difíciles de tomar en cuenta en dicha evaluación. Por ejemplo: se puede tomar en cuenta cuantas jornadas de trabajo remunerado se pierden durante una inundación, sin embargo es difícil reconocer cuántos trabajos definitivos se pierden por el cierre de fuentes de trabajo a consecuencia de los daños provocados por la inundación.

Es importante mencionar que en los análisis de riesgo es imposible alcanzar un riesgo igual a cero.

En materia de salud, los riesgos sobre la morbilidad y la mortalidad, posterior a inundaciones lentas y progresivas son limitados, aun cuando se ha registrado un aumento leve del número de defunciones por la mordedura de serpientes venenosas; y, en general, los traumatismos causados por las inundaciones son escasos y sólo requieren una limitada atención médica.

Por otra parte, y pese a que las inundaciones no suelen provocar aumentos de la frecuencia de la morbilidad, sí pueden dar lugar a brotes de enfermedades transmisibles como consecuencia de la interrupción de los servicios básicos de salud pública y el deterioro general de las condiciones de vida, sin embargo el riesgo se incrementa cuando la inundación se prolonga.

Cuando ocurre una inundación, la conducta de los afectados rara vez evoluciona hacia el pánico generalizado o la espera aturdida. Tan pronto como se recuperan de la conmoción inicial, comienzan a actuar de forma positiva para alcanzar sus metas personales bien definidas, es decir, se incrementa la acción individual espontánea.

Los sobrevivientes suelen comenzar las actividades de búsqueda y rescate a los pocos minutos del impacto, y a las pocas horas ya suelen haberse organizado en grupos para transportar a los heridos a los puestos médicos, ver [foto 3](#).



Foto 3. Grupos organizados en salvamento.

Aunque cada persona piense que sus reacciones espontáneas son totalmente racionales, algunas pueden resultar perjudiciales para los intereses generales, particularmente en los casos, de las personas que tienen

la doble función de ser jefes de familia y personal de atención en emergencias, que no acuden a sus puestos de trabajo hasta después de haber puesto a salvo a sus familiares y bienes.

Como los rumores abundan, sobre todo los referidos a epidemias, las autoridades pueden verse sometidas a una gran presión para adoptar medidas de emergencia tales como la vacunación masiva contra la fiebre tifoidea o el cólera sin un fundamento médico sólido, además, muchas personas son reacias a aceptar las medidas que las autoridades consideran necesarias.

Durante los períodos de alarma o después de ocurrir una inundación, la gente se niega a la evacuación, incluso aunque sea probable que sus hogares puedan resultar destruidos o, de hecho, ya lo estén.

Esos patrones de comportamiento tienen dos implicaciones importantes para los tomadores de las decisiones relativas a los programas humanitarios.

En primer lugar, es posible limitar o modificar las demandas urgentes de asistencia y los patrones de comportamiento, si se mantiene debidamente informada a la población y se obtienen los datos necesarios antes de iniciar un programa prolongado de socorro.

En segundo lugar, la propia población afectada será la que más colabore en el rescate y en la provisión de primeros auxilios, el transporte de los heridos a los hospitales, la construcción de refugios temporales y la realización de otras tareas esenciales. Por tanto, los recursos adicionales deben destinarse a cubrir las necesidades que la población en general no puede satisfacer por sí misma, como los bordos de costalera, ver [foto 4](#).

Las inundaciones no suelen provocar brotes masivos de enfermedades infecciosas, aunque en algunas circunstancias aumentan las posibilidades de transmisión. A corto plazo, el aumento de la incidencia de enfermedades que se observa con mayor frecuencia obedece a la contaminación fecal del agua y los alimentos, lo que ocasiona mayormente enfermedades entéricas.

El riesgo de brotes epidémicos de enfermedades transmisibles es proporcional a la densidad y el desplazamiento de la población, puesto que esos factores aumentan la demanda de abastecimiento de agua y alimentos.

En el período inmediatamente posterior a la inundación crece el riesgo de contaminación, tal como sucede en los campamentos de refugiados, se interrumpen los servicios sanitarios existentes, como los de agua

potable, alcantarillado y saneamiento, y resulta imposible mantener o restablecer los programas ordinarios de salud pública.



Foto 4. Construcción de bordos.

A más largo plazo, en algunas zonas puede haber un aumento de las enfermedades transmitidas por vectores debido a la desorganización de las actividades correspondientes de control.

Es posible que las lluvias torrenciales y las inundaciones aumenten el número de criaderos de mosquitos; además, el desplazamiento de animales salvajes o domésticos hacia las proximidades de los asentamientos humanos supone un riesgo adicional de infecciones zoonóticas.

En el caso de los desastres complejos, en los que son frecuentes la malnutrición, el hacinamiento y la ausencia de las condiciones sanitarias más básicas, suelen ocurrir brotes catastróficos de gastroenteritis, causados por cólera u otras enfermedades.

Cuando se producen grandes movimientos de población, espontáneos u organizados, se crea una necesidad urgente de proporcionar asistencia humanitaria. La población suele desplazarse hacia las áreas urbanas, donde los servicios públicos son incapaces de afrontar la llegada masiva de estas personas, con el consiguiente aumento de las cifras de morbilidad y mortalidad.

Cuando el desastre destruye la mayoría de las viviendas, pueden producirse grandes movimientos de población dentro de las propias áreas urbanas porque los afectados buscan cobijo en los hogares de familiares y amigos.

De acuerdo con algunas encuestas realizadas en los asentamientos y poblaciones, tras el terremoto que

sacudió a la Ciudad de México en septiembre de 1985, 72% de las 33,000 personas que quedaron sin hogar encontraron refugio en las zonas aledañas a sus moradas destruidas.

Los peligros sanitarios asociados a la exposición a los elementos no son grandes en los climas templados, ni siquiera después de los desastres.

Mientras se mantenga a la población en lugares secos, razonablemente bien abrigada y protegida del viento, las defunciones por exposición a la intemperie no parecen constituir un riesgo importante, en consecuencia, la necesidad de proporcionar refugios de emergencia depende en gran medida de las circunstancias locales, pero, sobre todo, de las medidas preventivas tomadas para afrontar situaciones de emergencia.

La escasez de alimentos en el período inmediatamente posterior a la inundación suele deberse a dos causas: por una parte, la destrucción de los depósitos de alimentos en la zona afectada reduce la cantidad absoluta de comida disponible; y, por la otra, la desorganización de los sistemas de distribución puede impedir el acceso a los alimentos, incluso cuando no existe una escasez absoluta.

Los desbordamientos de los ríos suele deteriorar las despensas de alimentos en los hogares y arruinar los cultivos, interrumpen la distribución y provocan serias penurias locales.

La distribución de alimentos, al menos en el corto plazo, suele ser una necesidad importante y urgente aunque, en general, las importaciones o donaciones de alimentos en gran escala no suelen ser necesarias.

Según el estado nutricional general de las poblaciones, puede ser necesario instaurar programas alimentarios de emergencia destinados principalmente a los grupos más vulnerables, como mujeres embarazadas o amamantando, niños y ancianos.

Los sistemas de abastecimiento de agua potable, alcantarillado y saneamiento son especialmente vulnerables a las inundaciones y su destrucción o la interrupción de los servicios conllevan graves riesgos sanitarios.

Esos sistemas son extensos, a menudo están en mal estado y expuestos a diversos peligros. Las deficiencias en la cantidad y calidad del agua potable y los problemas de eliminación de aguas residuales y otros desechos traen como consecuencia un deterioro de los servicios de saneamiento que contribuye a crear las condiciones

favorables para la propagación de enfermedades entéricas y de otro tipo.

Inmediatamente después de la inundación, la ansiedad, las neurosis y la depresión no constituyen graves problemas de salud pública; por esa razón, las familias pueden afrontarlos temporalmente.

Siempre que sea posible, deben hacerse todos los esfuerzos necesarios para preservar la estructura social de las familias; asimismo, se debe desalentar enérgicamente el uso indiscriminado de sedantes o tranquilizantes durante la fase de socorro de emergencia.

En las zonas industrializadas o metropolitanas de los países en desarrollo, existe un aumento significativo de los problemas de salud mental durante las fases de rehabilitación y reconstrucción a largo plazo, lo que obliga a tratarlos durante esos períodos.

En el caso de hospitales y centros de salud cuya estructura es insegura, las inundaciones ponen en peligro la vida de sus ocupantes y limitan la capacidad de la institución para proveer servicios a las víctimas.

El terremoto que sacudió a la Ciudad de México en 1985 provocó el colapso de 13 hospitales. En solo tres de ellos murieron 866 personas, 100 de las cuales formaban parte del personal de salud; asimismo, se perdieron aproximadamente 6,000 camas de los establecimientos metropolitanos.

Propuesta de medidas no estructurales efectivas para prevenir y disminuir el impacto negativo de las inundaciones, como el sistema de pronóstico y alerta de crecidas; la regulación del uso del suelo en las zonas inundables y políticas de desarrollo urbano en el área y la relocalización de las edificaciones vulnerables.

Las inundaciones no son acontecimientos imprevisibles y la tecnología actual es suficiente para identificar los riesgos que amenazan a una población, así como para prever las áreas y asentamientos que se verían afectados, en virtud de que es el hombre quien modifica la naturaleza y es un factor desencadenante de su ocurrencia.

En tal virtud, no sólo se debe actuar cuando ocurra el desastre, sino previéndolo antes y, sustancialmente ejerciendo autoridad para que los proyectos de inversión y desarrollo cuenten con los estudios de impacto ambiental y que sus medidas de mitigación sean implementadas oportuna y adecuadamente.

El ordenamiento territorial es un medio efectivo para controlar el desarrollo de los terrenos aluviales. Al

destinar el terreno a la agricultura, parques y áreas de conservación, se protege la zona aluvial, y se previenen los usos del terreno que sean vulnerables a los daños causados por las inundaciones.

Este ordenamiento puede prohibir o especificar, los tipos de las estructuras que pueden ser construidas en el cauce, o en el terreno aluvial, para reducir el riesgo de inundación, así como requerir que las estructuras cuenten con protección contra inundaciones, y prohibir la construcción de viviendas y caminos que puedan magnificar los efectos de las inundaciones.

Los reglamentos sanitarios y de construcción deben especificar los requerimientos estructurales de las nuevas viviendas, para reducir su vulnerabilidad a la inundación, y disminuir los riesgos sanitarios y de seguridad para los ocupantes (por ejemplo: especificaciones en cuanto a las instalaciones eléctricas y elevación de los pisos), y reducir al mínimo el grado en que se impida el flujo de las aguas pluviales.

Con excepción de los casos de inundación severa, los ecosistemas y las poblaciones de muchas áreas se han adaptado, y dependen de la inundación periódica de la tierra.

Ordinariamente, la inundación llega a ser un problema sólo si los eventos naturales o las actividades humanas aumentan su intensidad o frecuencia, o si el hombre invade las áreas inundables; colocando estructuras y realizando actividades que requieren protección.

Para que el Programa de Control de Inundaciones tenga éxito, deben formularse mecanismos claros de coordinación de las actividades con los demás sectores y con la comunidad internacional.

El director general de los organismos de cuenca es el responsable de las actividades de preparación y de los planes de coordinación con los demás organismos gubernamentales, incluidos los de defensa civil, el ejército y las divisiones de relaciones exteriores, con los organismos de las Naciones Unidas y otros organismos internacionales, con la Cruz Roja y otras organizaciones no gubernamentales, y con las instituciones responsables de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento.

## Glosario de términos

- **Análisis de riesgo.** Estudio o evaluación de las circunstancias, eventualidades o contingencias que en



el desarrollo de un proyecto, obra o actividad pueden generar peligro o daño a la salud humana, al ambiente o a los recursos naturales.

- **Clima.** Conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Temperatura particular y demás condiciones atmosféricas y telúricas de cada país.
- **Contaminación.** Grado de concentración de elementos químicos, físicos, biológicos o energéticos por encima del cual se pone en peligro la generación o el desarrollo de la vida, provocando impactos que ponen en riesgo la salud de las personas y la calidad del medio ambiente.
- **Cuenca.** Área delimitada por un límite topográfico bien definido (parteaguas). Es una zona geográfica donde las condiciones hidrológicas son tales que el agua se concentra en un punto en particular a partir del cual la cuenca se drena. Dentro de este límite topográfico, la cuenca presenta un complejo de suelos, geoformas, vegetación y uso de la tierra.
- **Deforestación.** La conversión de bosques a otro uso de la tierra o la reducción a largo plazo de la cubierta forestal por debajo del diez por ciento.
- **Degradación.** Cambios dentro del bosque que afectan negativamente la estructura o función del bosque o sitio reduciendo su capacidad de proporcionar productos y/o servicios.
- **Desastre.** Interrupción seria del funcionamiento de una comunidad o sociedad que causa pérdidas humanas y/o importantes pérdidas materiales, económicas y/o ambientales; que exceden la capacidad de la comunidad o sociedad afectada para hacer frente a la situación utilizando sus propios recursos.
- **Ecosistema.** Conjunto complejo de relaciones entre organismos vivos que funcionan como una unidad e interactúan con su ambiente físico.
- **Estudio de Impacto Ambiental (EIA).** Estudios llevados a cabo para evaluar el efecto sobre un ambiente específico debido a la introducción de uno o varios nuevos factores, que pueden alterar el equilibrio ecológico existente.
- **Erosión hídrica de suelos.** Implica todas las formas de erosión hídrica, incluyendo erosión laminar, surcos y cárcavas, así como las formas inducidas por el hombre como deslizamientos causados por corte de vegetación o por construcción de caminos.
- **Evaluación del riesgo.** Metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de amenazas potenciales y evaluación de condiciones existentes de vulnerabilidad que pudieran representar una amenaza potencial o daño a la población, propiedades, medios de subsistencia y al ambiente del cual dependen.
- **Fisiografía.** Descripción de los rasgos físicos de la superficie terrestre y de los fenómenos que se producen en ella.
- **Geología.** Ciencia que estudia la forma exterior e interior del globo terrestre, la naturaleza de las materias que lo componen y su formación, los cambios o alteraciones que éstas han experimentado desde su origen, y de la colocación que tienen en su actual estado.
- **Gestión de emergencias.** Organización y gestión de recursos y responsabilidades para el manejo de todos los aspectos de las emergencias, en particular preparación, respuesta y rehabilitación.
- **Gestión del riesgo de desastres.** Conjunto de decisiones administrativas, de organización y conocimientos operacionales desarrollados por sociedades y comunidades para implementar políticas, estrategias y fortalecer sus capacidades a fin de reducir el impacto de amenazas naturales y de desastres ambientales y tecnológicos consecuentes.
- **Información pública.** Información, hechos y conocimientos adquiridos o aprendidos como resultado de investigación o estudio, disponible para ser difundida al público.
- **Inundación.** Es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, bien por desbordamiento de ríos, por subida de las mareas por encima del nivel habitual por avalanchas causadas por tsunamis.
- **Manejo integrado de cuencas.** Proceso interactivo de decisiones sobre los usos y las modificaciones de los recursos naturales dentro de una cuenca. Este proceso provee la oportunidad de hacer un balance entre los diferentes usos que se le pueden dar a los recursos naturales y los impactos que éstos tienen en el largo plazo para la sustentabilidad de los recursos. Implica la formulación y el desarrollo de actividades que involucran a los recursos naturales y humanos de la cuenca. De ahí que en este proceso



- se requiera la aplicación de las ciencias sociales y naturales. Asimismo, conlleva la participación de la población en los procesos de planificación, concertación y toma de decisiones. Por lo tanto, el concepto integral implica el desarrollo de capacidades locales que faciliten la participación. El fin de los planes de manejo integral es el de conducir al desarrollo de la cuenca a partir de un uso sustentable de los recursos naturales.
- **Medidas de control.** Todas aquellas medidas tomadas para contrarrestar y/o reducir el riesgo de desastres. Frecuentemente comprenden medidas de ingeniería (estructurales) pero pueden también incluir medidas no estructurales y herramientas diseñadas y empleadas para evitar o limitar el impacto adverso de amenazas naturales y de desastres ambientales y tecnológicos consecuentes.
  - **Medidas estructurales y no-estructurales.** Medidas de ingeniería y de construcción tales como protección de estructuras e infraestructuras para reducir o evitar el posible impacto de amenazas.
  - **Mitigación.** Medidas estructurales y no-estructurales emprendidas para limitar el impacto adverso de las amenazas naturales y tecnológicas y de la degradación ambiental.
  - **Monitoreo.** Obtención espacial y temporal de información específica sobre el estado de las variables ambientales, destinada a alimentar los procesos de seguimiento y fiscalización ambiental.
  - **Ordenamiento territorial.** La expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de la sociedad. Es a la vez una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como un enfoque interdisciplinario y global, cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector.
  - **Ordenamiento ecológico.** Instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias del deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos.
  - **Planificación territorial.** Rama de la planificación física y socio-económica que determina los medios y evalúa el potencial o limitaciones de varias opciones de uso del suelo, con los correspondientes efectos en diferentes segmentos de la población o comunidad cuyos intereses han sido considerados en la toma de decisiones.
  - **Preparación.** Actividades y medidas tomadas anticipadamente para asegurar una respuesta eficaz ante el impacto de amenazas, incluyendo la emisión oportuna y efectiva de sistemas de alerta temprana y la evacuación temporal de población y propiedades del área amenazada.
  - **Población.** Conjunto de individuos de la misma especie que ocupan una misma área geográfica. Conjunto de personas que habitan la Tierra o cualquier división geográfica de ella.
  - **Prevención.** Actividades tendentes a evitar el impacto adverso de amenazas, y medios empleados para minimizar los desastres ambientales, tecnológicos y biológicos relacionados con dichas amenazas.
  - **Precipitación.** Agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra.
  - **Pronóstico.** Declaración definida o estimación estadística de la ocurrencia de un acontecimiento futuro (UNESCO, WMO).
  - **Recuperación.** Decisiones y acciones tomadas luego de un desastre con el objeto de restaurar las condiciones de vida de la comunidad afectada, mientras se promueven y facilitan a su vez los cambios necesarios para la reducción de desastres.
  - **Riesgo.** Probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental) resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad. Desde el punto de vista de pérdida, el riesgo puede verse como la combinación de tres factores importantes: el costo o valor de los bienes expuestos a un evento, por su nivel de vulnerabilidad o daño ante el evento en acción, por la probabilidad de que el evento ocurra.
  - **Sistema de Información Geográfica (SIG).** Análisis que combinan base de datos relacionales con interpretación espacial y resultados generalmente en forma de

mapas. Una definición más elaborada es la de programas de computador para capturar, almacenar, comprobar, integrar, analizar y suministrar datos terrestres georeferenciados.

- **Vulnerabilidad.** Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos, y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de amenazas. Susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador, es decir, el grado de pérdidas esperadas.

## Referencias bibliográficas

- Organización Panamericana de la Salud. *El desafío del sector de agua y saneamiento en la reducción de desastres: mejorar la calidad de vida reduciendo vulnerabilidades*. Washington, D.C: OPS, © 2006. ISBN 92 75 32629 0
- Organización Panamericana de la Salud. *Los desastres naturales y la protección de la salud*. Washington, DC: OPS, ©2000. ISBN 92 75 31575 2

## 4.2.1 Plan de salud

En materia de salud el programa debe considerar:

1. Identificar los posibles escenarios de salud de acuerdo con el análisis de los peligros y la vulnerabilidad, y usar ese conocimiento como base para crear el plan para casos de inundación. Es preciso decidir los recursos que deben ser movilizados en la planificación de los escenarios más probables, en oposición al “peor escenario posible” (que es poco probable que ocurra en toda una vida).
2. Enumerar todos los fenómenos posibles y las probables necesidades de salud generadas por los distintos escenarios. Para ser efectiva, la planificación debe estar orientada hacia objetivos específicos y realistas, tales como la forma de actuar ante la asistencia no solicitada y cómo aprovechar al máximo los recursos disponibles.
3. Planificar las características principales de la respuesta administrativa, tales como la ubicación y los deberes generales de los funcionarios clave. Los planes no deben complicarse con detalles; debe dejarse un margen para que las respuestas adecuadas e improvisadas llenen las posibles lagunas.
4. Subdividir los planes en unidades autosuficientes. La respuesta adecuada a una inundación no suele requerir que todo el personal especializado (por ejemplo, los administradores de los hospitales) esté familiarizado con todos los aspectos del programa, pero se debe asegurar que cada participante del programa conozca el papel que le toca jugar.
5. Dar a conocer ampliamente el programa. Las personas que tienen que cumplir funciones de importancia en el marco del programa para casos de inundación deben estar muy familiarizadas con el mismo. Esa exigencia requiere una capacitación considerable.  
Son muchos los programas buenos que fracasan en situaciones de emergencia real por falta de una diseminación adecuada de su contenido y por no haber sido practicados suficientemente.
6. Incluir ejercicios periódicos para poner a prueba el programa, pues luego no son realistas si no son puestos a prueba. La ausencia de una prueba real anula en gran medida la validez del mejor de los programas abstractos.
7. Incluir sistemas de alerta e información tempranas para que la población pueda adoptar medidas de

autoprotección o llegar a los refugios temporarios en caso de ser necesaria la evacuación. La información pública debe emanar de fuentes autorizadas y competentes y tener formatos bien definidos para que los mensajes sean claros y precisos. Los sistemas de alerta de los distintos tipos de desastres deben ser normalizados en todo el país y puestos a prueba durante los ejercicios de simulacro. La población debe estar al tanto de cómo funcionan los sistemas de alerta en casos de inundaciones antes de que ocurra el fenómeno, aún cuando se encuentre fuera de su lugar de residencia habitual.

8. Compilar un paquete de información con los datos demográficos básicos, incluidos los datos epidemiológicos. Ese paquete debe contener mapas topográficos que indiquen el trazado de las carreteras, la ubicación de los puentes y las líneas ferroviarias, la ubicación y el plano básico de distribución de los establecimientos de salud, y toda la información adicional que pueda facilitar la respuesta. El paquete debe estar ubicado en algún lugar que no se inunde o que permita encontrarlo fácilmente en caso de inundación. Si existen Sistemas de Información Geográfica (SIG), serán de gran utilidad y, si ellos dependen de otras instancias deberán compartirse.

## 4.2.2 Asentamientos humanos

Es indispensable elaborar un diagnóstico preciso de la situación de vulnerabilidad y riesgo en que viven los asentamientos humanos, irregulares, a fin de desarrollar programas que creen las bases legales e institucionales que favorezcan el desarrollo urbano.

Es una obligación del Estado realizar una planeación estratégica del desarrollo urbano, que debe permitir otorgar los servicios necesarios a la población y planear los recursos que deberán aplicarse a tales servicios.

El Artículo 4º constitucional establece el principio en el que los ciudadanos cuenten con una vivienda digna y decorosa, y en ese sentido los gobiernos en sus tres órdenes (federal, estatal y municipal), deben garantizar programas y políticas públicas que garanticen el acceso a este derecho.

De lo anterior se deriva el establecer las bases y desarrollar los programas y acciones requeridos para identificar e inventariar los asentamientos humanos irregulares en el país, a fin de lograr su regularización, reubicación o desalojo, en función de las disposiciones que la ley establece para el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos.

Existen terrenos que por sus condiciones físicas, vocación, ubicación o régimen de propiedad, no pueden ser destinados a determinados usos urbanos como la habitación, el comercio y los servicios, por lo que su regularización debe descartarse de origen y las personas que habitan en esos lugares, contar con apoyo para una pronta reubicación.

Por lo anterior, antes de establecer las alternativas de regularización, se deben mencionar aquellos casos de asentamientos humanos que no pueden ser regularizados, de conformidad con las leyes, reglamentos y normas vigentes, por lo que deben ser desalojados y/o reubicados:

- Asentamientos ubicados sobre terrenos que presenten riesgos naturales.
- Asentamientos ubicados sobre terrenos que se encuentren afectados por obras, tales como: líneas de alta tensión, ductos, entre otros.
- Asentamientos ubicados sobre áreas naturales protegidas, que cuenten con una declaratoria expedida por cualquier orden de gobierno bajo la figura de:
  - Reserva de la biosfera.
  - Parque nacional.

- Monumentos naturales.
- Áreas de protección de recursos naturales.
- Áreas de protección de flora y fauna.
- Santuarios.
- Parques y reservas estatales.
- Zonas de prevención ecológica de centros de población.
- Asentamientos ubicados en terrenos federales que sean de uso común o que resulten útiles para destinarlos al servicio público, tales como:
  - Playas marítimas.
  - Zona federal marítimo terrestre.
  - Puertos, bahías, radas y ensenadas.
  - Diques, muelles, escolleras, malecones y demás obras de los puertos, cuando sean de uso público.
  - Los cauces de las corrientes y los vasos de los lagos, lagunas y esteros de propiedad nacional.
  - Riberas y zonas federales de las corrientes.
  - Presas, diques y sus vasos, canales, bordos y zanjas, construidos para la irrigación, navegación y otros usos de utilidad pública, con sus zonas de protección y derechos de vía, o riberas.
  - Caminos, carreteras, puentes, y vías férreas que constituyen vías generales de comunicación, con sus servicios auxiliares y demás partes integrantes establecidas en la ley federal de la materia.
  - Las plazas, paseos y parques públicos cuya construcción o conservación esté a cargo del gobierno federal y las construcciones levantadas por el gobierno federal en lugares públicos para ornato o comodidad de quienes los visiten, y
  - Demás bienes considerados de uso común por otras leyes que regulen bienes nacionales.
- Asentamientos ubicados en terrenos en donde los planes y programas de desarrollo urbano prohíban usos del suelo habitacionales, comerciales o de servicios; o bien, sean consideradas zonas de desarrollo controlado y de salvaguarda o amortiguamiento, especialmente en áreas e instalaciones en las que se realizan actividades riesgosas y se manejan materiales o residuos peligrosos.
- Asentamientos humanos ubicados en zonas que por sus características topográficas, geológicas, hidrológicas o de ubicación no se considere técnica o económicamente factible la dotación de servi-

cios públicos como agua potable, drenaje, energía eléctrica y vialidad.

El Artículo 2º fracción I de la Ley General de Asentamientos Humanos, define como asentamiento humano:

“El establecimiento de un conglomerado demográfico, con el conjunto de sus sistemas de convivencia, en una área físicamente localizada, considerando dentro de la misma los elementos naturales y las obras materiales que lo integran.”

Con apoyo en la definición anterior, se concluye que un asentamiento humano irregular, resulta ser de igual forma el establecimiento de un conglomerado demográfico, pero desordenado, carente de un proceso de planeación y regulación en su fundación y, principalmente, con problemas jurídicos de regularización respecto de la tenencia de la tierra por sus actuales poseedores, ya sea que lleve un largo tiempo de ocupación o ésta sea reciente.

Existe una iniciativa de Ley para modificar la definición por:

“Asentamientos humanos irregulares: Es el establecimiento anormal de un conglomerado demográfico, en condiciones de ilegalidad e insuficiencia de servicios, que carece en distintos grados de sistemas de convivencia, en una área localizada o dispersa, sin considerar todas las obras materiales y los elementos naturales requeridos.”

## Reducción del riesgo en materia de agua potable, drenaje y saneamiento

En los últimos años se han ido forjando iniciativas nacionales y locales vinculadas con la prevención, preparación y respuesta frente a situaciones de emergencia; sin embargo, la mayoría de los prestadores del servicio han estado ausentes.

En algunos casos, los operadores privados no han podido formar parte de las iniciativas gubernamentales en el tema; en otros, existe el entendimiento equivocado de algunos prestadores, que en situaciones de emergencia la Cruz Roja, el ejército o las agencias de ayuda humanitaria son quienes deben velar por el suministro de servicios básicos a la población afectada.

Los procesos de reforma del sector agua (descentralización hacia los municipios, concesiones y privatización) no han incorporado en los contratos de concesión y en la regulación, normativas que responsabilicen a los

prestadores de los servicios por la provisión de agua drenaje y saneamiento durante las situaciones de emergencia, y de hecho los han eximido de la responsabilidad.

Ante esta situación, los prestadores no cuentan con los incentivos para reducir el riesgo de sus servicios y contar con los preparativos que aseguren los niveles mínimos en condiciones de emergencia.

Es más fácil y económico incorporar medidas de protección contra el impacto de las inundaciones durante la instalación de sistemas nuevos que en los sistemas en funcionamiento, debido a que en los primeros no se necesita interrumpir el suministro durante la ejecución de las obras, y en los segundos, existen limitaciones técnicas y logísticas para el acceso a los componentes instalados bajo tierra o en zonas de difícil acceso.

Sin embargo, esto no significa que la protección de los sistemas existentes no sea una tarea deseable y factible de llevar a cabo; por el contrario, debe darse la importancia debida, en especial en aquellas zonas donde la ocurrencia de las inundaciones es un hecho latente y recurrente.

Las siguientes son algunas de las razones por las cuales el trabajo de gestión del riesgo y reducción de vulnerabilidades en sistemas de agua potable, drenaje y saneamiento se torna más importante y urgente:

- Los sistemas requieren ser más extensos, ya sea porque las fuentes seguras de agua son escasas y lejanas, o porque el crecimiento de las ciudades hace necesario que los sistemas se extiendan grandes longitudes con el afán de llevar los servicios a toda la población.
- La creciente degradación ambiental ha traído consigo un aumento en la vulnerabilidad no sólo de los sistemas, sino también del entorno físico en general. Tanto a nivel local (la deforestación de una ladera que genera un aumento en la ocurrencia de deslizamientos), como global (el cambio climático origina que las inundaciones, huracanes y sequías sean cada vez más frecuentes y severos), la degradación ambiental incrementa la vulnerabilidad de los sistemas de agua y saneamiento que se ven expuestos a un número de amenazas cada vez mayor.
- En la mayoría de los países, los marcos regulatorios y normativos que rigen el sector agua consideran la ocurrencia de las inundaciones como casos fortuitos o de “fuerza mayor”, ante los cuales tanto los prestadores

públicos, privados o mixtos quedan exentos de la responsabilidad en la prestación de servicios durante la emergencia.

- Los entes reguladores y las autoridades del sector tienen la responsabilidad directa y urgente en la modificación de dichos marcos, en los cuales deben estar explícitos las responsabilidades en el momento de la emergencia, las acciones que deben tomar para evitar que la población quede desabastecida luego de un desastre y las condiciones mínimas que deben tener los servicios en situaciones de emergencia, cantidad, calidad y continuidad; todas ellas establecidas de manera coordinada y concertada con las autoridades locales.
- Actualmente, con las herramientas técnicas y científicas se pueden identificar las amenazas presentes y la magnitud en que pueden afectar a un determinado sistema en el período de su vida útil o dentro del tiempo de concesión para su operación. De cualquier manera, debido a lo impredecible de la magnitud de un fenómeno en particular, los operadores deben estar preparados para recuperar el control de la operación de un sistema que haya sido dañado por un evento extremo de inundación.

Con esta información, los contratos de concesión de los servicios deben incluir lineamientos específicos sobre la protección de los sistemas para evitar que la población quede desabastecida.

La importancia de contar con estos servicios en situaciones de emergencia hace necesario que las regulaciones que se apliquen sobre los prestadores de servicios vayan más allá de la aplicación de multas y penalidades en caso de incumplimiento.

Por el contrario, debe orientarse a crear incentivos para que los prestadores y operadores incluyan las medidas necesarias para asegurar la provisión de servicios, reducir y transferir los riesgos y de esta manera asegurar la sustentabilidad de los sistemas y la recuperación de los servicios después de la emergencia.

La transferencia de riesgo mediante la suscripción de seguros, aún cuando no reduce la vulnerabilidad física de los sistemas ni asegura la continuidad del servicio, es una herramienta para contar con los recursos necesarios en la recuperación de los daños y asegurar la viabilidad financiera de la empresa para ello es necesario que las

empresas aseguradoras cuenten con sistemas expeditos de evaluación de daños y pago de pólizas.

El uso de seguros debe impulsar y crear incentivos para la incorporación de medidas de prevención y mitigación de los sistemas a los cuales cubre, reconociendo tales medidas en el establecimiento de las primas de seguros y reduciéndolas para el caso de los sistemas que demuestren ser menos vulnerables.

Es indispensable que las normas de diseño usadas por el sector en la construcción de los sistemas sean actualizadas en relación a las lecciones aprendidas por los operadores en cada inundación sobre nuevas vulnerabilidades.

Además, debe fomentarse la cooperación entre los distintos operadores para apoyarse en situaciones de emergencia y hacer posible el intercambio de experiencias.

Luego de la inundación, los operadores deben recoger las experiencias vividas en la atención a la emergencia y los procesos de rehabilitación y reconstrucción de sistemas, de manera que forme parte del conocimiento institucional y pueda ser compartido y replicado por otros operadores en un proceso de intercambio de información.

Dentro de este proceso, las autoridades sectoriales y las instituciones científicas y académicas son esenciales para proporcionar el sustento técnico y científico que haga válidas y extensivas las prácticas exitosas que se hayan recopilado, así como una distribución más amplia del conocimiento que se genera con cada desastre.

En vista de la responsabilidad de prestar los servicios en las mejores condiciones posibles a las instalaciones críticas durante la etapa de emergencia, es indispensable que los prestadores de los servicios conozcan la ubicación y necesidades específicas de las instalaciones críticas como hospitales, albergues (o aquellos que puedan funcionar como albergues) y de este modo adecuar los sistemas para asegurar la disponibilidad de los servicios de manera prioritaria.

El trabajo realizado por parte de los operadores debe contribuir en el desafío de los tres órdenes de gobiernos por el ordenamiento territorial (restringiendo las áreas donde los riesgos son muy elevados), protección ambiental y reducción del riesgo, armonizando con los planes que existen en cada uno de estos temas, para evitar superponer o duplicar esfuerzos y peor aún obstaculizar otros proyectos o generar condiciones vulnerables de algún tipo.

## Perspectivas para el futuro

- Adoptar la reducción del daño causado por las inundaciones como un objetivo y un indicador para alcanzar el desarrollo sostenible.
- Desarrollar técnicas locales regionales y nacionales para evaluar y monitorear la vulnerabilidad a las inundaciones.
- Asegurar la participación activa de individuos y poblaciones en riesgo.
- Aplicar los avances tecnológicos en forma de políticas efectivas para dar respuesta a las inundaciones, mediante la revisión y recopilación de las experiencias y estudios que integran los sectores público y científico.
- Dar prioridad a la educación de la población y de los actores principales para establecer una cultura preventiva de las inundaciones.
- Proveer a los profesionales y científicos de un acceso rápido a la información, mediante la instalación de centros nacionales y regionales de documentación de inundaciones.
- Fortalecer la tendencia hacia la descentralización de las instituciones y promover una mayor participación de la sociedad entera, en un esfuerzo por reducir la vulnerabilidad.
- Promover el establecimiento de comisiones parlamentarias nacionales y locales para revisar y fortalecer la legislación existente.
- Vigilar la estricta aplicación de la normatividad existente y por desarrollar, en especial aquella destinada a reglamentar la ubicación de asentamientos humanos en zonas de riesgo. Esta quizás es la más importante de las metas por alcanzar en el mediano plazo.



## 4.3 Programa de rectificación de cauces

Un programa de rectificación de cauces debe cumplir el objetivo de mejorar la capacidad de conducción hidráulica en las corrientes y definir la mejor trayectoria del cauce, con el propósito de reducir los riesgos por inundaciones, evitar daños a propiedades y pérdida de vidas humanas; y con ello, garantizar el normal desarrollo de la vida diaria en las ciudades, poblados, zonas industriales o de producción.

El diseño de las obras hidráulicas relacionadas con el control de inundaciones contempla el carácter aleatorio de las avenidas. Para ello, en la práctica tradicional se establecen recomendaciones sobre el periodo de retorno de la avenida de diseño, en función de conceptos muy generales relacionados con el tipo de obra y la importancia de la zona que se pretende proteger.

Se define como grado de protección, a un nivel aceptable del riesgo existente en la ocurrencia de los daños por sufrir.

Sin embargo, puede plantearse que la magnitud más conveniente de la obra de control, está en función de la relación entre la reducción de los riesgos, entendida como el valor esperado de los daños evitados y las inversiones correspondientes; y, que existen procedimientos que permiten encontrar el periodo de retorno, para lograr la máxima relación de beneficio (en este caso daño evitado) contra costo. Sin embargo, no hay que perder de vista el carácter aleatorio de los eventos hidrológicos y el grado de incertidumbre asociado a la cantidad de datos hidrometeorológicos disponibles.

El constante crecimiento urbano y la expansión de las zonas de producción, obligan a meditar en la solución de problemas como el drenaje y la rectificación de las corrientes que cruzan esas zonas; que exige la interrelación en la planificación urbana con el objetivo de preservar la integridad física de los habitantes, las vías de comunicación, garantizar el desarrollo de las actividades cotidianas de la población en épocas de lluvias importantes, la protección de las propiedades y las zonas de producción.

En el sistema de drenaje urbano y de zonas de producción, se considera un conjunto de obras, entre ellas, las de

rectificación de ríos, que están dirigidas a la protección de la integridad de la ciudadanía y sus propiedades.

Es importante que, para la selección del gasto a considerar en el proyecto de rectificación de cauces, se tome un límite aceptable del tiempo de inundación admitido y un mayor o menor grado de riesgo.

El proporcionar una protección total ante cualquier magnitud de inundación, implica construir obras de rectificación de corrientes con magnitudes no imaginables, tanto físicas como económicas; tales que, obligan a seleccionar un grado de protección razonable, basado en el análisis óptimo de la obra y la máxima protección posible a suministrar.

El grado de protección adecuado, depende de dos conceptos básicos:

1. La importancia social y económica de los bienes que han de protegerse, pues de esto depende que se puedan producir mayores o menores daños.
2. La función que desempeña la obra.

Además, un programa para rectificar los cauces, deberá basarse en los siguientes aspectos:

- Planificar e identificar zonas de riesgo.
- Cuantificar los servicios públicos prioritarios en contingencia.
- Identificar las vías de comunicación en riesgo potencial.
- Seleccionar los sitios prioritarios a proteger.
- Listar en orden de importancia las corrientes a rectificar.
- Plantear alternativas de solución para rectificar las corrientes; y, analizarlas.

Por otra parte, es necesario considerar que con el paso del tiempo, un río rectificado, tratará de encontrar su condición de equilibrio y buscará desarrollar nuevos meandros.

### Impacto de las obras de rectificación

En ocasiones se requiere controlar el corte de un meandro, bien sea para evitar una ruptura violenta, que altere de manera importante el régimen ya establecido del río, o bien, para acortar o mejorar la navegación en ciertos tramos. Dicho control puede requerir desde la construcción completa del corte necesario para rectificar al río, hasta solamente la excavación de un canal o cauce piloto, que posteriormente el propio río agrande hasta

alcanzar su equilibrio y conducir el escurrimiento completo. Evidentemente también existe el caso intermedio de cortes por donde sólo se desvíe permanentemente, parte del escurrimiento total.

El corte o rectificación de un meandro altera y modifica la estabilidad dinámica del tramo de río en que ocurre; ya que la pendiente se incrementa. Desde el momento en que se forma el corte, el río tiende a recobrar su condición estable, es decir, a alcanzar su pendiente estable que es cercana a la que tenía antes de que el corte ocurriera. Para ello, el río empieza a desarrollar nuevas curvas o a erosionar las que existen cercanas al corte y al ampliarlas, se forman nuevos meandros. En otras palabras, el río tiende a alcanzar la pendiente de equilibrio aumentando la longitud de recorrido del flujo mediante el desarrollo de curvas y meandros.

Para ello, es necesario proyectar medidas de protección y formación de márgenes, que consisten en la construcción de cierto tipo de obras que preserven las zonas de interés.

## Obras más comunes para proteger las márgenes

Las obras que comúnmente se construyen para reducir inundaciones en ríos con curvas y rectificaciones, son:

### Espigones

Estructuras interpuestas a la corriente uno de cuyos extremos está unido a una margen. El propósito de estas estructuras consiste en alejar de la orilla las líneas de corriente con alta velocidad, para evitar así que el material de la margen pueda ser transportado y ella se erosione.

Además, los espigones facilitan que los sedimentos se depositen entre ellos, con lo que se logra una protección adicional de la orilla. Los espigones pueden estar unidos simplemente a la orilla en contacto con ella, o bien, estar empotrados una cierta longitud dentro de la margen.

### Recubrimientos o muros marginales

Son protecciones que consisten en colocar, directamente sobre la orilla, un material natural o artificial que no pueda ser arrastrado por la corriente. Para ello, normalmente se perfila la orilla con un talud que permita la colocación fácil y segura del material de protección. Entre este

último material y el que forma la margen usualmente se coloca un filtro, ya sea artificial como puede ser un geotextil o natural con materiales pétreos formando una o varias capas con elementos cuyo tamaño decrece de afuera hacia la margen. El objeto del filtro es evitar que las partículas finas de la orilla salgan a través de los huecos, que puede tener la capa exterior o coraza, diseñada para resistir las altas velocidades del flujo. Los recubrimientos marginales, al apoyarse directamente contra el talud de la orilla tienen la inclinación de ésta. Sin embargo, también se construyen verticalmente formando muros sobre todo en los tramos en que los ríos cruzan ciudades y poblados. Por último, estas protecciones también se forman con elementos colocados cerca de la margen y a lo largo de ella, como los *jacks*, con los que se logra disminuir la intensidad de la corriente y que ésta arrastre las partículas de la orilla.

### Diques marginales

Estructuras, en ocasiones de gran longitud, colocadas dentro del cauce. Se utilizan cuando se quiere formar una nueva orilla que permita encauzar al flujo en forma más adecuada o cuando se desea reducir el ancho del río. Al igual que los espigones pueden iniciarse y estar unidos a la margen mientras que toda la obra está dentro del cauce. La principal diferencia entre ellos y los espigones consiste en que éstos últimos interfieren con las líneas de flujo mientras que los diques se colocan y diseñan para lograr que las líneas de corriente sean paralelas a esas obras. Son construidos normalmente con materiales como arcilla, arena o materiales pétreos; su sección transversal es trapecial y el talud en contacto con la corriente del río es formado de manera similar a los recubrimientos marginales. Por supuesto, los diques marginales también se pueden formar con paredes verticales cuando se utilizan tabla-estacas o se construyen muros.

Como comentarios adicionales sobre el diseño de las obras mencionadas conviene tener en mente lo siguiente:

1. En las obras de protección generalmente se utilizan espigones y recubrimientos marginales; mientras que en las de encauzamiento y rectificación se pueden usar combinaciones idóneas de espigones, recubrimientos y diques marginales.
2. Los diseños de obras de protección pueden variar según el criterio y experiencia del ingeniero proyectista.

El mejor diseño dependerá finalmente del costo de la obra, de los equipos de construcción, materiales disponibles y del tiempo de ejecución. No se puede soslayar el ingenio con el cual se diseña, ni con el cual se seleccione el procedimiento constructivo más adecuado. Los mayores cambios que se pueden observar y donde no hay límites para el ingenio del proyectista, están no tanto en la ubicación y trazo de las protecciones en planta, sino en el dimensionamiento de las obras y de los elementos que las constituyen.

El proceso de selección de la mejor solución de rectificación de cauces, requiere de la participación de especialistas experimentados en diferentes áreas como: la ingeniería hidráulica, civil, geografía, urbanismo y ecología, entre otros.

Es importante señalar que conforme se incrementa la magnitud de la obra, se incrementa también la protección deseada, pero también su costo; por tanto, debe existir un tamaño óptimo para el que la suma de los daños por inundación más el costo de la protección sea mínima. Por lo que, este análisis debe considerar la estimación de los daños esperados en la situación actual y la relación entre el gasto máximo de las avenidas y la magnitud de los daños que causan. El estudio de selección, implica la evaluación económica de diferentes magnitudes de obra propuestas y los daños por inundaciones, para poder seleccionar el tamaño óptimo de la obra con la mejor reducción de los daños esperados.

Una vez escogida la solución óptima, en cuanto a tipo y tamaño de la obra, para la rectificación del cauce, se procede a plantear algunas alternativas de anteproyecto.

## Datos necesarios para un estudio de rectificación y sus obras de protección

El diseño de los cortes artificiales, obliga a tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El alineamiento de los dos extremos del corte debe ser tangencial a la dirección del flujo principal.
- La entrada al corte debe ser acampanada.
- En lo posible debe realizarse la excavación en material aluvial, es decir, en los sitios de depósito del propio río. Se debe cuidar que la energía a la salida, sea al menos igual a la de la corriente principal de ese sitio.

- El fondo del cauce piloto a la entrada y salida del mismo, coincidirá con la elevación del fondo del río en esos sitios. La profundidad de excavación del cauce piloto se lleva hasta la línea recta teórica que une esas dos elevaciones.

La erosión en ríos con meandros o curvas, depende del ángulo de la misma; del radio de curvatura, medido al centro del cauce; de la geometría de la sección transversal del río en los tramos rectos; de la dirección del flujo a la entrada y a lo largo de las curvas, con respecto a la dirección de la orilla exterior; de la resistencia de los materiales de la orilla a ser erosionados; del talud de la orilla; de las propiedades físicas de los sedimentos; del caudal del río y de las velocidades de la corriente; y, del transporte de sedimentos que proviene de aguas arriba de la curva o que es aportado por la orilla si ésta es erosionada.

Entre los datos más importantes para el diseño de obras de protección en rectificaciones, se consideran los siguientes:

- La topografía y batimetría del río en la zona a proteger.
- Secciones transversales a lo largo de las orillas que serán protegidas.
- Características hidráulicas de la corriente.
- Granulometría y peso específico de los materiales del fondo y orillas del cauce.
- Materiales de construcción disponibles en la zona.

Aunado a lo anterior, el responsable de asegurar la recopilación de información confiable, debe realizar análisis y conclusiones con criterio y experiencia, y aplicar lineamientos adecuados, con objeto de obtener resultados básicos razonables para la elaboración de proyectos de ejecución definitivos.

Una vez recopilada toda la información básica disponible, como la necesaria para la elaboración del estudio de rectificación, se podrá pasar a la siguiente etapa, que se refiere al comportamiento hidrológico e hidráulico actual de la zona en riesgo.

Al tomar en cuenta las diferentes zonas de riesgo por inundación y una vez identificadas previamente las corrientes por rectificar, se efectúa un análisis preliminar de inundación para diferentes niveles de riesgo aceptados y así, con un panorama de las posibles áreas afectadas en cada sitio, se comparan las características socioeconómicas de la población, los planes de desarrollo urbano y/o las zonas de

producción, en esos puntos; y, se elabora un planteamiento de soluciones factibles.

Finalmente, antes de iniciar la construcción de las obras para rectificar un cauce, se recomienda: determinar la avenida máxima probable para el período de retorno seleccionado, en el sitio en particular; y, diseñar la obra por arriba del nivel máximo de esa avenida; considerar que, estimaciones exageradas provocan la construcción de obras de rectificación sobredimensionadas, mientras que, evaluaciones escasas, dan como resultado sistemas deficientes al ser rebasados en su capacidad en corto tiempo.

## 4.4 Programas de comunicación y sistemas de alerta

El hombre como respuesta ante la vulnerabilidad que tiene ante situaciones de riesgo generadas por la naturaleza o por él mismo, desarrolla e implementa, mecanismos y sistemas que le permitan anticiparse a la llegada de un fenómeno meteorológico perturbador. Cuando la alerta es oportuna se pueden implementar muchas medidas para salvaguardar vidas, propiedades y el hábitat en general. Si bien es cierto que algunas amenazas son impredecibles, debido a su propia naturaleza, muchas de las que provienen de la propia naturaleza y de las actividades humanas, ahora se pueden anticipar con cierta precisión. Gracias a los avances científicos y tecnológicos la observación, análisis, y registro de los fenómenos naturales se mejora día a día.

Es importante emprender tanto “alertas rápidas” sobre la aparición de una amenaza de desastre inminente, como inundaciones imprevistas ó tormentas severas, así como “alertas prolongadas” con el fin de poder difundir información sobre desastres que se pueden presentar con el tiempo, como hambrunas o sequías.

Al término “alerta temprana” a menudo se le da el significado de “predicción” cuando en realidad muchos sucesos que representan una amenaza son impredecibles. La alerta temprana simplemente significa que un suceso es inminente y que es el momento de tomar las medidas necesarias para mitigar (por medio de la preparación y la prevención) sus consecuencias (las del suceso).

Para que sea efectivo, un sistema de alerta temprana debe tener la capacidad de estimular una respuesta oportuna antes de que se presente el suceso. Debe identificar los usuarios de la información de la alerta temprana y cuál es la forma más eficiente de llevarles información veraz con el fin de apoyar su capacidad de toma de decisiones. Por lo tanto, debe traducir los datos relevantes en indicadores de alerta temprana que los responsables de la toma de decisiones puedan interpretar y utilizar fácilmente.

En los últimos años el hombre con su capacidad de asociación y comunicación, ha organizado una serie

de reuniones internacionales a fin de preparar y emitir lineamientos y acciones que sirvan de guía a los gobiernos, organizaciones y comunidad mundial, para desarrollar y perfeccionar sistemas de alerta temprana (SAT).

Dentro de los eventos internacionales sobre alerta temprana, destacan:

La **Conferencia Internacional sobre Sistemas de Alerta Temprana**, para la reducción de desastres naturales (EWC'98 Potsdam), donde destaca la importancia de la Alerta Temprana como un elemento de las estrategias nacionales e internacionales de prevención.

La **Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible**, (Johannesburgo, 2002) donde se realizó una invitación para el desarrollo y mejoramiento de los sistemas y redes de alerta temprana en la políticas y planes de desarrollo sostenible (EIRD).

La **Segunda Conferencia Internacional sobre Alerta Temprana**, (EWCII'2003 Bonn) con el mensaje de "Integrar la alerta temprana en las políticas públicas" y emitió el marco para el Programa Internacional de Alerta.

En 2004 se establece en Bonn la Plataforma para la **Promoción de la Alerta Temprana**, por parte de la Secretaría de la EIRD y respaldo del gobierno alemán.

En enero de 2005, la **Conferencia Mundial sobre la Reducción de Desastres** adoptó el "Marco de Acción de **Hyogo 2005-2015**: "Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres". Éste hace claras referencias a la importancia de la alerta temprana y fomenta el desarrollo de:

"sistemas de alerta temprana enfocados en el factor humano y en particular sistemas cuyas advertencias sean oportunas y comprensibles por las personas en peligro (...) incluyendo una guía sobre cómo actuar al recibir las alertas (...) (párr..17, ii.d.9)."

La **Tercera Conferencia Internacional sobre Alerta Temprana (EWC III)** brinda la oportunidad de discutir acerca de los peligros y riesgos en el mundo entero y de las maneras de minimizar los impactos de estos eventos por medio de la presentación de proyectos específicos. El objetivo de este enfoque es contribuir a la concretización de conceptos de alerta temprana hacia la acción.

Un éxito clave de la conferencia es la compilación de una lista de comprobación (*checklist*), de las acciones importantes sobre alerta temprana para comunidades y médicos, siguiendo la recomendación del **Marco de Acción de Hyogo 2005-2015**.

Por lo anterior, es indispensable disponer de lineamientos básicos para que personal de Organismos de Cuenca y Direcciones Locales de la Comisión Nacional del Agua, desarrollen, implanten y operen, conjuntamente con la comunidad, sistemas de alerta temprana hidrometeorológica, dentro de sus respectivas jurisdicciones.

## Elementos y acciones principales para el desarrollo, evaluación y mejoramiento de sistemas de alerta temprana

A continuación se transcriben las recomendaciones y acciones a tener en cuenta en el desarrollo de un sistema de alerta temprana, conforme la tercera conferencia Internacional sobre alerta Temprana (Bonn, Alemania, 2006).

Un sistema de alerta temprana completo y eficaz comprende cuatro elementos interrelacionados, que abarcan el conocimiento de peligros y vulnerabilidades por medio de la preparación en caso de desastres y de la capacidad de reacción. Una debilidad o un fallo en cualquiera de las partes podrían causar el fracaso de todo el sistema.

Los mejores sistemas de alerta temprana también mantienen una estrecha relación entre todos sus elementos, que son apuntalados por la comunicación y la eficacia en la gobernabilidad y las disposiciones institucionales. Los principales actores relacionados con estos diversos elementos deberían reunirse regularmente para asegurar que entiendan todos los otros componentes y lo que los otros actores necesitan de ellos.

### Elementos principales

El objetivo de los sistemas de alerta temprana centrados en la población es facultar a las personas y comunidades que enfrentan una amenaza a que actúen con suficiente tiempo y de modo adecuado para reducir la posibilidad de que se produzcan lesiones personales, pérdidas de vidas y daños a los bienes y al medio ambiente.

Un sistema completo y eficaz de alerta temprana comprende cuatro elementos interrelacionados, que van desde el conocimiento de los riesgos y las vulnerabilidades hasta la preparación y la capacidad de respuesta. Los sistemas de alerta temprana basados en las mejores prácticas también

establecen sólidos vínculos internos y ofrecen canales eficaces de comunicación entre todos estos elementos.

### Conocimiento de los riesgos

Los riesgos se deben a una combinación de amenazas y vulnerabilidades en un lugar determinado. La evaluación de los riesgos requiere de la recopilación y de análisis sistemáticos de información y debe tener en cuenta el carácter dinámico de las amenazas y vulnerabilidades que generan procesos tales como: la urbanización, cambios en el uso de la tierra en zonas rurales, la degradación del medio ambiente y el cambio climático. Las evaluaciones y los mapas de riesgo ayudan a motivar a la población, establecen prioridades para las necesidades de los sistemas de alerta temprana y sirven de guía para los preparativos de prevención de desastres y respuesta ante los mismos.

### Servicio de seguimiento y alerta

Los servicios de alerta constituyen el componente fundamental del sistema, ver [tabla 1](#). Es necesario contar con una base científica sólida para prever y prevenir amenazas y con un sistema fiable de pronósticos y alerta que funcione las 24 horas al día. Un seguimiento continuo de los parámetros y los aspectos que antecedieron las amenazas es indispensable para elaborar alertas precisas y oportunas. Los servicios de alerta para las distintas amenazas deben coordinarse en la medida de lo posible para aprovechar las redes comunes institucionales, de procedimientos y de comunicaciones.

### Difusión y comunicación

Las alertas deben llegar a las personas en peligro. Para generar respuestas adecuadas que ayuden a salvar vidas y medios de sustento se requieren de mensajes claros que ofrezcan información sencilla y útil. Es necesario definir previamente los sistemas de comunicación en los planos regional, nacional y local y designar portavoces autorizados. El empleo de múltiples canales de comunicación es indispensable para garantizar que la alerta llegue al mayor número posible de personas, para evitar que cualquiera de los canales falle y para reforzar el mensaje de alerta.

### Capacidad de respuesta

Es de suma importancia que las comunidades comprendan el riesgo que corren, respeten el servicio de alerta y sepan cómo reaccionar. Al respecto, los programas de educación y preparación desempeñan un papel esencial. Asimismo, es indispensable que existan planes de gestión de desastres que hayan sido objeto de prácticas y sometidos a prueba. La población debe estar muy bien informada sobre las opciones en cuanto a una conducta segura, las rutas de escape existentes y la mejor forma de evitar daños y pérdidas de bienes.

### Aspectos transversales

Al momento de diseñar y mantener sistemas eficaces de alerta temprana, es necesario tomar en consideración una serie de aspectos de índole general.

**Tabla 1. Cuatro elementos principales de los sistemas de alerta temprana centrados en la población**

Conocimiento de los riesgos	Servicio de seguimiento y alerta	Difusión y comunicación	Capacidad de respuesta
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilación sistemática de información y evaluación del riesgo.</li> <li>• ¿Se conocen los peligros y las vulnerabilidades?</li> <li>• ¿Qué pautas y tendencias presentan los factores?</li> <li>• ¿Se han distribuido ampliamente mapas e información sobre los riesgos?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de servicios de seguimiento y alerta temprana.</li> <li>• ¿Se realiza el seguimiento de los parámetros correctos?</li> <li>• ¿Existe una base científica sólida para efectuar pronósticos?</li> <li>• ¿Se pueden emitir alertas precisas y oportunas?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicación de la información sobre riesgos y alertas tempranas.</li> <li>• ¿Reciben las alertas todas las personas en peligro?</li> <li>• ¿Se comprenden los riesgos y las alertas?</li> <li>• ¿Resulta la información de las alertas clara y útil?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de las capacidades de respuesta de los ámbitos nacional y comunitario.</li> <li>• ¿Se comprueban y ponen al día los planes de respuesta?</li> <li>• ¿Se hace uso de las capacidades y de los conocimientos locales?</li> <li>• ¿Está la población preparada y para responder a las alertas?</li> </ul>
Fuente: Plataforma para la Promoción de Alerta Temprana de la EIRD/ONU			



### Gobernabilidad y arreglos institucionales eficaces

La gobernabilidad y acuerdos institucionales muy bien establecidos contribuyen al exitoso desarrollo y a la sostenibilidad de sistemas sólidos de alerta temprana. Estos elementos constituyen la base en la que se fundan, refuerzan y se mantienen los ya mencionados cuatro elementos de la alerta temprana.

Un sólido marco jurídico y reglamentario estimula la gobernabilidad, la cual también se refuerza a través del compromiso político a largo plazo y arreglos institucionales eficaces. Las medidas efectivas de la gobernabilidad, a su vez, deberán fomentar la toma de decisiones y la participación en el ámbito local, con el apoyo de mayores competencias administrativas y recursos en el plano nacional o regional. También es necesario establecer coordinación y comunicaciones verticales y horizontales entre los actores participantes en la alerta temprana.

### Enfoque de amenazas múltiples

En la medida de lo posible, los sistemas de alerta temprana deberán establecer vínculos entre todos los sistemas para diversas amenazas. Si se afianzan tanto los sistemas como las actividades operativas en un marco de múltiples propósitos que tenga en cuenta todas las amenazas y las necesidades de los usuarios finales, se podrán obtener más economías de escala, una mayor sostenibilidad y un grado más alto de eficiencia. Los sistemas de alerta temprana para amenazas múltiples también se activarán con mayor frecuencia que un sistema de alerta dedicado sólo a una de éstas y por lo tanto deberán ofrecer mejores funciones y una mayor fiabilidad para aquellos fenómenos de gran intensidad, tales como: los tsunamis, los cuales no se producen tan a menudo. Asimismo, los sistemas para amenazas múltiples sirven para comprender mejor la variedad de riesgos que se enfrentan y refuerzan las acciones adecuadas de preparación y las conductas de respuesta frente a una alerta.

### Participación de las comunidades locales

Los sistemas de alerta temprana centrados en la población se basan en la participación directa de quienes tienen más probabilidades de estar expuestos a las amenazas. Es muy probable que sin la participación de las autoridades y las comunidades locales en riesgo, las intervenciones y respuestas gubernamentales e institucionales resulten inadecuadas. Un enfoque local “de abajo hacia

arriba” para la alerta temprana, con la activa participación de las comunidades locales, permite desarrollar una respuesta multidimensional ante los problemas y necesidades existentes. De esta manera, las comunidades locales, los grupos cívicos y las estructuras tradicionales están en condiciones de contribuir a reducir la vulnerabilidad y a fortalecer las capacidades locales.

### Consideración de la perspectiva de género y la diversidad cultural

Para desarrollar sistemas de alerta temprana es indispensable comprender que cada grupo tiene vulnerabilidades distintas en función de su cultura, género u otras características que inciden en su capacidad de prepararse eficazmente frente a los desastres, prevenirlos y responder ante los mismos. Los hombres y las mujeres desempeñan funciones diferentes en la sociedad y tienen un grado distinto de acceso a la información en situaciones de desastre. Además, los grupos de ancianos, discapacitados y personas social y económicamente desfavorecidas suelen ser más vulnerables.

### Actores principales

El desarrollo y la implementación de un sistema eficaz de alerta temprana requieren de la contribución y la coordinación de una gran variedad de grupos y personas. La siguiente lista explica brevemente los tipos de organizaciones y grupos que deben participar en los sistemas de alerta temprana, al igual que sus funciones y responsabilidades.

Las **comunidades**, en particular las más vulnerables, revisten una importancia fundamental para los sistemas de alerta temprana centrados en la población. Es necesario que las mismas participen activamente en todos los aspectos del establecimiento y el funcionamiento de tales sistemas, que conozcan las amenazas y posibles impactos a los que están expuestas y que puedan adoptar medidas para reducir al mínimo la posibilidad de sufrir pérdidas o daños.

Las **autoridades locales**, al igual que las comunidades y las personas, constituyen el núcleo de un sistema eficaz de alerta temprana. Los gobiernos nacionales deben facultar a las autoridades locales y éstas deben tener un alto grado de conocimiento sobre las amenazas a las que se exponen sus comunidades y participar activamente en el diseño y el mantenimiento de los sistemas de alerta

temprana. Las autoridades locales también deberán comprender la información sobre recomendaciones básicas que reciban y estar en condiciones de asesorar, instruir y hacer participar a la población local a fin de incrementar la seguridad pública y reducir la posible pérdida de recursos de los que depende la comunidad.

Los **gobiernos nacionales** son responsables de las políticas y marcos de alto nivel que facilitan la alerta temprana, y de los sistemas técnicos que prevén y emiten las alertas nacionales de amenaza. Los gobiernos nacionales deberán interactuar con las autoridades y agencias regionales e internacionales para reforzar las capacidades de los sistemas de alerta temprana y encargarse de que las alertas y las consiguientes respuestas vayan dirigidas a las poblaciones más vulnerables. Otra de sus funciones fundamentales es prestarles ayuda a las comunidades y gobiernos locales para que desarrollen sus capacidades operativas.

Las **instituciones y organizaciones regionales** desempeñan un papel fundamental en la transmisión de conocimientos y asesoramiento especializado en apoyo a las medidas nacionales destinadas a desarrollar y a mantener las capacidades de alerta temprana en aquellos países que comparten un entorno geográfico común. Además, estos entes estimulan el establecimiento de vínculos con organizaciones internacionales y facilitan la difusión de buenas prácticas en materia de alerta temprana entre países vecinos.

Los **organismos internacionales** pueden ofrecer coordinación, estandarización y asistencia internacional para las actividades nacionales de alerta temprana, y fomentar el intercambio de información y conocimientos entre distintos países y regiones. Este tipo de apoyo puede incluir información sobre recomendaciones básicas y asistencia técnica, organizativa y en materia de políticas. Estos aspectos son necesarios para contribuir a desarrollar capacidades operativas de las autoridades o agencias nacionales.

Las **organizaciones no gubernamentales** tienen una función de concientización entre las personas, comunidades y organizaciones que participan en la alerta temprana, sobre todo en el ámbito local. También pueden ayudar a la implementación de sistemas de alerta temprana y a preparar a las comunidades a enfrentar los desastres naturales. Además, pueden desempeñar un importante papel en la promoción de la alerta temprana

para que se mantenga en la agenda de los gobiernos y los encargados de la formulación de políticas.

El **sector privado** desempeña un papel muy diverso en este campo. Ello incluye el desarrollo de capacidades de alerta temprana en sus propias organizaciones. Los medios de comunicación juegan un papel fundamental para mejorar el nivel de conocimiento sobre desastres entre la población en general y para difundir alertas tempranas. Asimismo, el sector privado cuenta con un amplio potencial que aún no se ha aprovechado en cuanto al suministro de servicios especializados tales como mano de obra técnica, conocimientos aplicados y donativos (en especie o en efectivo) de bienes y servicios.

La **comunidad científica y académica** también juega un papel crucial al ofrecer insumos científicos y técnicos especializados para ayudar a los gobiernos y a las comunidades a desarrollar sistemas de alerta temprana. Sus competencias son fundamentales para analizar los riesgos de las amenazas naturales que enfrentan las comunidades, contribuir a la elaboración de servicios científicos y sistemáticos de seguimiento y alerta, fomentar el intercambio de información, traducir la información científica o técnica en mensajes comprensibles y difundir alertas que puedan entender las personas en riesgo.

## Listas de verificación de las acciones prácticas para ofrecer asistencia en el desarrollo, evaluación y mejoramiento de un sistema de alerta temprana

Lista de acciones para el conocimiento de riesgos

### Objetivo

Establecer un proceso sistemático y uniformizado para recopilar, evaluar y compartir información, mapas y tendencias en cuanto a las amenazas y vulnerabilidades.

### Actores principales

Agencias internacionales, nacionales y locales de gestión de desastres, organizaciones meteorológicas e hidrológicas, expertos en geofísica, científicos sociales, ingenieros, expertos en planificación urbana y rural, investigadores y académicos, representantes de organizaciones y comunidades que participan en la gestión de desastres, organismos internacionales y de las Naciones Unidas, tales

como la OMM, la EIRD/ONU, el PNUMA, el UNU-EHS, UNOSAT, el PUND, la FAO y la UNESCO.

## Lista de verificación

### 1. Arreglos organizativos establecidos

- Identificación y definición de las funciones de las principales agencias gubernamentales nacionales que participan en la evaluación de las amenazas y vulnerabilidades (por ejemplo: organismos responsables de la información económica, demográfica, social, del uso de la tierra, las mismas autoridades de Protección Civil, etcétera).
- Asignación a una sola organización nacional de la responsabilidad de coordinar la identificación de amenazas, y de evaluar las vulnerabilidades y los riesgos.
- Adopción de medidas legislativas o gubernamentales que exijan la elaboración de mapas de amenazas y vulnerabilidades para todas las comunidades.
- Elaboración de normas nacionales para la recopilación, socialización y evaluación sistemáticas de información sobre amenazas y vulnerabilidades y, cuando sea pertinente, su estandarización con países vecinos o de la misma región.
- Desarrollo de procesos para que expertos científicos y técnicos evalúen y examinen la precisión de la información y datos acerca de los riesgos.
- Elaboración de estrategias para que las comunidades participen activamente en el análisis de amenazas y vulnerabilidades locales.
- Establecimiento de procesos anuales de revisión y actualización de la información sobre riesgos, incluida la información sobre cualquier nueva vulnerabilidad o amenaza o en proceso de formación.

### 2. Identificación de amenazas naturales

- Análisis y evaluación de las características de las principales amenazas naturales (intensidad, frecuencia y probabilidad) y de sus datos históricos.
- Elaboración de mapas de amenazas para identificar las zonas geográficas y comunidades que podrían verse afectadas por las amenazas naturales.
- Elaboración de mapas integrados de amenazas (cuando sea posible) para evaluar la interacción de diversas amenazas naturales.

### 3. Análisis de la vulnerabilidad en las comunidades

- Conducción de evaluaciones de vulnerabilidad en las comunidades para todas las amenazas naturales relevantes.
- Consideración de las fuentes de datos históricos y de posibles amenazas futuras en las evaluaciones de vulnerabilidad.
- Consideración de factores tales como género, discapacidad, acceso a la infraestructura, diversidad económica y puntos sensibles del medio ambiente.
- Documentación y elaboración de mapas de vulnerabilidad (por ejemplo: representación gráfica y localización de poblaciones que viven en las zonas costeras).

### 4. Evaluación del riesgo

- Evaluación de la interacción entre las amenazas y las vulnerabilidades para determinar los riesgos que enfrenta cada región o comunidad.
- Conducción de consultas entre la comunidad y las industrias para garantizar que la información sobre los riesgos sea exhaustiva e incluya conocimientos históricos e indígenas, además de información en los ámbitos local y nacional.
- Identificación y evaluación de actividades que incrementen el riesgo.
- Integración de los resultados de las evaluaciones de los riesgos en los planes locales de gestión de riesgos y en los mensajes de alerta.

### 5. Almacenamiento y acceso a la información

- Creación de una "biblioteca" central o de una base de datos de información geográfica para almacenar toda la información sobre los riesgos de desastres y amenazas naturales.
- Disponibilidad de la información sobre amenazas y vulnerabilidades para los gobiernos, el público y la comunidad internacional (cuando sea pertinente).
- Desarrollo de un plan de mantenimiento para asegurarse de que la información está actualizada.

## Lista de acciones para el servicio de seguimiento y alerta

Necesaria para establecer un servicio eficaz de seguimiento y alerta de amenazas con una sólida base científica y tecnológica.

## Actores principales

Servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales, centros especializados de observación y alerta (por ejemplo: para inundaciones o volcanes), universidades, institutos de investigación, proveedores de equipos del sector privado, autoridades de telecomunicaciones, expertos en gestión de calidad, centros técnicos regionales, organismos de las Naciones Unidas tales como la EIRD/ONU, la OMM, la FAO, la UNESCO, el PDNU, UNOSAT, la OCAH y la UIT.

## Lista de verificación

### 1. Establecimiento de mecanismos institucionales

- Establecimiento por ley de procesos uniformizados y de funciones y responsabilidades para todas las organizaciones que generen y emitan alertas.
- Adopción de acuerdos y protocolos interinstitucionales para garantizar la coherencia del lenguaje de las alertas y de los canales de comunicación, cuando diferentes agencias se encarguen de distintas amenazas.
- Creación de un plan para todas las amenazas a fin de obtener una mayor eficiencia y eficacia entre los diversos sistemas de alerta.
- Establecimiento de colaboradores de los sistemas de alerta, incluyendo a las autoridades locales. Es importante que las mismas sepan cuáles son las organizaciones que se encargan de las alertas.
- Aprobación de protocolos para definir responsabilidades y canales de comunicación para los servicios técnicos de alerta.
- Adopción y puesta en funcionamiento de acuerdos en materia de comunicaciones con organizaciones internacionales y regionales.
- Adopción de acuerdos regionales, mecanismos de coordinación y centros especializados sobre temas regionales tales como ciclones tropicales, inundaciones en cuencas comunes, intercambio de información y desarrollo de capacidades técnicas.
- Realización de pruebas y ejercicios que abarquen todo el sistema al menos una vez al año.
- Creación de un comité integrado sobre sistemas técnicos de alerta, vinculado a las autoridades nacionales encargadas de la gestión y reducción de desastres,

incluyendo una plataforma nacional para la reducción del riesgo de desastres.

- Creación de un sistema para verificar que las alertas hayan llegado a sus destinatarios.
- Centros de alerta con personal en todo momento (24 horas al día, los siete días de la semana).

### 2. Desarrollo de sistemas de seguimiento

- Documentación de los parámetros de medición y de las especificaciones para cada amenaza.
- Existencia de planes y documentos para las redes de seguimiento, disponibles y acordados con expertos y autoridades competentes.
- Existencia de equipo técnico, adaptado a las condiciones y circunstancias locales y personal capacitado para usarlo y mantenerlo.
- Acceso a información y a los análisis de las redes regionales, territorios vecinos y fuentes internacionales pertinentes.
- Recepción, procesamiento y disponibilidad de información en formatos útiles en tiempo real o casi real.
- Adopción de estrategias para obtener, revisar y difundir información sobre las vulnerabilidades relacionadas con cada una de las amenazas relevantes.
- Archivo rutinario y acceso a la información para fines de verificación y estudio.

### 3. Establecimiento de sistemas de pronóstico y alerta

- Emisión de información y alertas de conformidad con las normas y protocolos internacionales.
- Capacitación de analistas de alertas según las normas internacionales pertinentes.
- Suministro de equipo adecuado necesario para que los centros de alerta procesen la información y ejecuten modelos de predicción.
- Establecimiento de sistemas a prueba de fallas, como generadores auxiliares, duplicación de equipos y sistemas de personal en espera.
- Generación y difusión de alertas de forma eficiente y oportuna, en un formato adaptado a las necesidades de los usuarios.
- Implementación de un plan para el seguimiento rutinario y para la evaluación de procesos operativos, incluyendo la calidad de la información y la efectividad de las alertas.

## Lista de acciones para la difusión y comunicación

### Objetivo

Desarrollar sistemas de comunicación y difusión para advertir de antemano a las personas y comunidades de una amenaza natural inminente y facilitar la coordinación y el intercambio de información en los ámbitos nacional y regional.

### Actores principales

Agencias internacionales, nacionales y locales para la gestión de desastres, servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales, autoridades civiles y militares, medios de comunicación (prensa escrita, televisión, radio y servicios en línea), empresas de sectores vulnerables (tales como turismo, hogares de ancianos y buques navales), organizaciones comunitarias y de base, agencias internacionales y de las Naciones Unidas, tales como la EIRD/ONU, la FICR, el PDNU, la UNESCO, el PNUMA, la OMM y la OCAH.

### Lista de verificación

#### 1. Institucionalización de procesos organizativos y de toma de decisiones

- Establecimiento de una cadena de difusión de alertas mediante políticas gubernamentales o legislación (por ejemplo: transmisión de mensajes de las autoridades públicas a los encargados de emergencias y las comunidades, entre otros).
- Habilitación de las autoridades reconocidas para difundir mensajes de alerta (por ejemplo: las autoridades meteorológicas para difundir mensajes sobre el tiempo y las autoridades sanitarias para emitir alertas sobre la salud).
- Definición en la legislación o las políticas gubernamentales de las funciones y responsabilidades de cada actor dentro del proceso de difusión de alertas (por ejemplo: servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales, medios de comunicación, ONGs).
- Definición de las funciones y responsabilidades de los centros regionales o transfronterizos de alerta temprana, incluyendo la difusión de alertas a países vecinos.
- Capacitación de una red de voluntarios facultados para recibir y difundir ampliamente alertas de amenazas a comunidades u hogares alejados.

#### 2. Instalación de sistemas y equipos eficaces de comunicación

- Adaptación de los sistemas de comunicación y difusión a las necesidades de las distintas comunidades (por ejemplo: radio y televisión para las que tienen acceso a estos medios, y sirenas, banderas de alerta y mensajeros para comunidades alejadas).
- Tecnologías de comunicación de alertas que lleguen a toda la población, incluidas las poblaciones estacionales y en localidades alejadas.
- Conducción de consultas con organizaciones o expertos internacionales para identificar y adquirir el equipo adecuado.
- Utilización de múltiples medios de comunicación para la difusión de alertas (por ejemplo: medios masivos y de comunicación informal).
- Adopción de acuerdos para utilizar recursos del sector privado cuando sea pertinente (por ejemplo: radios de aficionados y refugios de seguridad).
- Uso de sistemas coherentes de difusión y comunicación de alertas para todas las amenazas. Uso de sistemas bidireccionales e interactivos de comunicación para poder verificar la recepción de las alertas.
- Implementación de sistemas de mantenimiento y modernización y duplicación de equipos para tener sistemas de apoyo en caso de alguna falla.

#### 3. Reconocimiento y comprensión de los mensajes

- Adaptación de alertas y mensajes a las necesidades concretas de las personas en riesgo (por ejemplo: para distintos grupos culturales, sociales, de género, lingüísticos y de formación educativa).
- Emisión de alertas y mensajes específicos para cada región geográfica, a fin de que las alertas se dirijan sólo a las personas en riesgo.
- Inclusión en los mensajes de los valores, preocupaciones e intereses de quienes deberán tomar acciones (por ejemplo: instrucciones para proteger el ganado y los animales domésticos).
- Emisión de alertas claramente identificables y coherentes en el transcurso del tiempo, y medidas de seguimiento cuando sea necesario.
- Emisión de alertas específicas sobre el carácter de la amenaza y sus consecuencias.
- Establecimiento de mecanismos para informarle a la comunidad que la amenaza ha pasado.

- Conducción de estudios sobre la forma en que las personas acceden a los mensajes y los interpretan, e incorporación de las lecciones aprendidas en los formatos de los mensajes y los procesos de difusión.

## Lista de acciones para la capacidad de respuesta

### Objetivo

Para fortalecer la capacidad de las comunidades y responder a los desastres naturales mediante una mejor educación sobre los riesgos de las amenazas naturales, la participación de las comunidades y la preparación en desastres.

### Actores principales

Organizaciones comunitarias y de base, escuelas, universidades, sector de educación informal, medios de comunicación (prensa escrita, radio, televisión, servicios en línea), agencias técnicas con conocimientos especializados sobre amenazas, agencias nacionales y locales para la gestión de desastres, organismos regionales para la gestión de desastres, organizaciones internacionales y de las Naciones Unidas, tales como la OCAH, el PNUD, la FAO, la UNESCO, la EIRD/ONU, la FICR y la OMM.

### Listas de verificación

#### 1. Respeto a las alertas

- Generación y difusión de alertas por parte de fuentes fidedignas (autoridades públicas, líderes religiosos, organizaciones comunitarias respetadas) dirigidas a las personas en riesgo.
- Análisis de la percepción que el público tiene sobre los riesgos de las amenazas naturales y del servicio de alerta para prever las respuestas de las comunidades.
- Desarrollo de estrategias para infundir credibilidad y confianza en las alertas (por ejemplo: comprender la diferencia entre pronósticos y alertas).
- Reducción al mínimo de las falsas alarmas y comunicación de las mejoras para mantener la confianza en el sistema de alerta.

#### 2. Elaboración de planes de preparación y respuesta en caso de desastres

- Aprobación por ley de planes de preparación y respuesta en caso de desastres.

- Adopción de planes de preparación y respuesta en caso de desastres dirigidos a las necesidades de las comunidades vulnerables.
- Empleo de mapas de amenazas y de vulnerabilidad para elaborar planes de preparación y respuestas de emergencia.
- Actualización, difusión y puesta en práctica de los planes de preparación y respuestas de emergencia en las comunidades.
- Análisis de desastres y respuestas anteriores, e incorporación de las lecciones aprendidas a los planes de gestión de desastres.
- Implementación de estrategias para mantener el grado de preparación ante las amenazas recurrentes.
- Realización periódica de pruebas y simulacros para comprobar la eficacia de los procesos de difusión de alertas tempranas y las respuestas.

#### 3. Evaluación y fortalecimiento de las capacidades de respuesta de la comunidad

- Evaluación de la capacidad de la comunidad para responder de forma eficaz a las alertas tempranas.
- Análisis de las respuestas anteriores frente a los desastres e incorporación de las lecciones aprendidas a las futuras estrategias para el desarrollo de capacidades.
- Participación de las organizaciones comunitarias para contribuir al desarrollo de capacidades.
- Desarrollo y aplicación de programas de educación y capacitación para comunidades y voluntarios.

#### 4. Incremento de la concientización y la educación públicas

- Difusión de información sencilla sobre amenazas, vulnerabilidades y riesgos y la forma de reducir el impacto de los desastres, tanto en las comunidades vulnerables como entre los encargados de la formulación de políticas.
- Educación comunitaria sobre la forma en que se difundirán las alertas, sobre los medios que son fiables y sobre la forma de responder a las amenazas tras recibir mensajes de alerta temprana.
- Capacitación de la comunidad para que reconozca señales sencillas sobre amenazas hidrometeorológicas y geofísicas, a fin de que pueda reaccionar de inmediato.



- Incorporación de continuas campañas de concientización y educación en los planes de estudio, desde la enseñanza primaria hasta la universitaria.
- Utilización de los medios masivos, populares o alternativos de comunicación para incrementar la concientización pública.
- Adaptación de las campañas de concientización y educación públicas a las necesidades concretas de cada grupo (por ejemplo: menores, encargados de las emergencias, medios de comunicación).
- Evaluación de las estrategias y los programas de concientización pública, al menos una vez al año y su actualización cuando sea necesario.
- Empleo de modelos de la función o de “promotores” de la alerta temprana para mostrar sus ventajas.
- Identificación de los riesgos prioritarios de aquellas amenazas naturales que requieran de un sistema de alerta temprana y adopción de acuerdos operativos en un marco de amenazas múltiples.
- Integración de la alerta temprana a los planes económicos nacionales.

## Lista de acciones para la gobernabilidad y arreglos institucionales

### Objetivo

Desarrollar marcos institucionales, legislativos y en el ámbito de las políticas para apoyar la implementación y el mantenimiento de sistemas eficaces de alerta temprana.

### Actores principales

Dirigentes políticos, encargados de la formulación de políticas (por ejemplo: entes de desarrollo, planificación y medio ambiente), agencias internacionales, nacionales y locales para la gestión de desastres, organizaciones meteorológicas e hidrológicas, investigadores y académicos, organizaciones no gubernamentales, agencias internacionales y de las Naciones Unidas tales como el PNUD, el PNUMA, la FAO, la UNESCO, la EIRD/ONU, la OMM, el Banco Mundial y los bancos regionales de desarrollo, y la FICR.

### Lista de verificación

#### 1. Adopción de la alerta temprana como prioridad nacional y local a largo plazo

- Comunicación de las ventajas económicas de la alerta temprana a los altos funcionarios gubernamentales y dirigentes políticos, mediante métodos prácticos tales como análisis de costos y beneficios de desastres anteriores.
- Difusión de ejemplos y estudios de caso de sistemas eficaces de alerta temprana entre altos dirigentes gubernamentales y políticos.

#### 2. Establecimiento de marcos jurídicos y políticos para promover la alerta temprana

- Desarrollo de legislación o políticas nacionales para brindarle una base institucional y jurídica a la implementación de sistemas de alerta temprana.
- Definición de funciones y responsabilidades claras para todas las organizaciones (gubernamentales y no gubernamentales) involucradas en los sistemas de alerta temprana.
- Asignación de las responsabilidades y de autoridad en materia de coordinación de alertas tempranas a una sola agencia nacional.
- Nombramiento por ley de un solo dirigente político o alto funcionario gubernamental para la toma de decisiones en el ámbito nacional.
- Desarrollo de políticas para descentralizar la gestión de desastres y fomentar la participación comunitaria.
- Inclusión de la toma de decisiones en el ámbito local y de la implementación de los sistemas de alerta temprana en las capacidades administrativas generales y de recursos en los ámbitos nacional y regional.
- Adopción de acuerdos regionales y transfronterizos para la integración de los sistemas de alerta temprana cuando sea posible.
- Institucionalización de las relaciones y las alianzas de trabajo de todas las organizaciones que participan en los sistemas de alerta temprana y establecimiento obligatorio de mecanismos de coordinación.
- Integración de la alerta temprana en las políticas de reducción de desastres y de desarrollo.
- Adopción de un régimen de seguimiento y cumplimiento de la normativa para apoyar las políticas y la legislación.

#### 3. Evaluación y mejoramiento de las capacidades institucionales

- Evaluación de las capacidades de todas las organizaciones e instituciones participantes y desarrollo y

financiamiento de planes para el desarrollo de capacidades y programas de formación.

- Participación del sector no gubernamental y promoción de sus contribuciones al desarrollo de capacidades.

#### 4. Garantía de recursos financieros

- Desarrollo e institucionalización de los mecanismos de financiamiento público para sistemas de alerta temprana y preparación en desastres.
- Estudio del acceso al financiamiento en los planos regional e internacional.
- Utilización de alianzas de trabajo entre el sector público y el privado para contribuir al desarrollo de los sistemas de alerta temprana.

## Pasos para el desarrollo de sistemas de alerta temprana

Las etapas que se describen a continuación, son una adaptación y actualización del manual publicado por el Proyecto de Peligros Naturales de la Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Organización de los Estados Americanos (OEA, Washington, 2001), en colaboración con el Gobierno de Irlanda, como parte del Programa de Reducción de Vulnerabilidad a Inundaciones y Alerta Temprana en Cuencas Menores en Centro América (PCM) y Del Informe Técnico denominado Sistemas de Alerta Hidrometeorológica, en Acapulco, Tijuana, Motozintla, Tapachula y Monterrey del CENAPRED, edición de 2002.

Durante el presente se describen las principales actividades necesarias para planear, desarrollar, implantar, poner en operación y mantener un sistema de alerta temprana, en cuencas pequeñas que por su naturaleza presenten riesgos de inundaciones, con la consecuente pérdida de vidas humanas y bienes materiales.

### Paso 1. Organización comunitaria

#### Objetivo

Formación de un comité organizador y reunión inicial con miembros de la comunidad para formar equipos de trabajo y explicar conceptos generales para el desarrollo del programa

Como actores principales en el desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana (SAT), conforme las recomendaciones de la Tercera Conferencia Internacional de Bonn, Alemania, de marzo de 2006 (WCT III), en su capítulo de Aspectos transversales, subtema “Participación de las comunidades locales” indica que: los SAT, centrados en la población se basan en la participación directa de quienes tienen más probabilidades de estar expuestos a las amenazas. Es muy probable que sin la participación de las autoridades y las comunidades locales en riesgo, las intervenciones y respuestas gubernamentales e institucionales resulten inadecuadas. Un enfoque local “de abajo hacia arriba” para la alerta temprana, con la activa participación de las comunidades locales, permite desarrollar una respuesta multidimensional ante los problemas y necesidades existentes. De esta manera, las comunidades locales, los grupos cívicos y las estructuras tradicionales están en condiciones de contribuir a reducir la vulnerabilidad y a fortalecer las capacidades locales.

De tal manera que los miembros de las comunidades afectadas por inundaciones deben organizarse para así entender mejor su responsabilidad en el sistema a diseñar y ejecutar por medio de un programa basado en la organización, seguimiento de parámetros hidrológicos, toma de decisiones e implementación por la comunidad. A continuación se presentan las actividades que serán necesarias para la organización comunitaria.

#### Formación de un Comité Organizador

El Comité Organizador (CO) debe estar compuesto por líderes de la comunidad: personas que estén dispuestas a responsabilizarse por el buen funcionamiento del sistema, verificando que todos los equipos de trabajo estén cumpliendo con su función de acuerdo con los pasos que se explicarán más adelante. Deben ser representantes de cualquiera de los grupos mencionados a continuación:

- La comunidad (personas interesadas en la problemática, o representantes de la comunidad).
- Las autoridades locales (municipios, oficinas gubernamentales locales, agua, electricidad).
- Los gobiernos nacionales (CONAGUA, CENAPRED, SCT, CFE, entre otros).
- Las instituciones u organizaciones regionales.
- Organizaciones no gubernamentales (asociaciones civiles voluntarias, clubes o asociaciones de la comunidad).

- El sector privado (industrias, empresas, agricultura, comercio, turismo, entre otras).
- La comunidad científica y académica (asociaciones de profesionales, centros e institutos educativos, entre otros).

### Reunión inicial con miembros de la comunidad

Se recomienda que una vez formado el CO, se convoque a miembros de la comunidad, que vivan en las partes altas y bajas de la cuenca, a fin de explicar que con la ayuda de este manual se planea la implantación de un SAT, para inundaciones, basado en la participación de la comunidad, para lo cual se necesitará: formar equipos de trabajo; establecer un programa de trabajo; y explicar los conceptos generales necesarios para el mejor entendimiento de la problemática.

### Formación de equipos de trabajo

Se identificarán a los voluntarios y trabajadores gubernamentales, que formarán los diferentes grupos de trabajo. Esta distribución se hará repartiendo las responsabilidades de acuerdo con las habilidades y posición de cada persona. Como ejemplo se proponen los siguientes grupos:

#### Equipo de trabajo 1

Una o varias personas que apoyen a la institución gubernamental o empresa encargados de instalar los equipos de medición (Plataforma Colectora de Datos (PCD)), en un sitio determinado con anterioridad (explicado en el paso 3 de este manual).

#### Equipo de trabajo 2

Personal voluntario, gratificado, o trabajador de una institución gubernamental local, que se encargará de vigilar las instalaciones de medición (PCD) y en caso de falla de la transmisión automática, tomar y transmitir mediante radio los niveles de precipitación y nivel de ríos o presas al Centro de Acopio, Proceso y Alerta Hidrometeorológica (CAPAH), se recomienda que estas personas vivan en el sitio de medición o muy cerca a estos (descritos en el paso 3).

#### Equipo de trabajo 3

Personal que se encargará de trabajar en el CAPAH, las 24 hrs del día los 365 días del año, a fin de recibir

los datos de lluvia y niveles provenientes de las PCD, instaladas; procesar la información recibida; pronosticar las inundaciones; y en su caso emitir la alerta (autoridades y miembros al responsable del equipo de tomar acciones de emergencia).

#### Equipo de trabajo 4

Voluntarios y empleados gubernamentales locales, encargados de organizar y ejecutar planes de emergencia como respuesta a un pronóstico de inundación.

### Programa de trabajo

Una vez que se formaron los equipos de trabajo, se deberá seguir teniendo reuniones periódicamente y en un lugar y horario que asegure la asistencia del mayor número de asistentes, lo anterior con la finalidad de continuar con el desarrollo e implantación del Sistema de Alerta Temprana (SAT).

### Conceptos generales a explicar en la reunión inicial

En principio es muy conveniente explicar que la comunidad es parte de una cuenca hidrológica y dar su definición:

Figura 1. Regiones hidrológicas del país



## Cuenca hidrológica

Es una parte de territorio que se diferencia de otro por una línea divisoria de puntos altos del terreno (parteaguas), y cuyas aguas que se precipitan dentro de ella, escurren por cauces, arroyos y riachuelos hacia el mar o un cuerpo interior de agua. La cuenca hidrológica está a su vez compuesta de subcuencas y éstas últimas de microcuencas.

Para el caso de nuestro país, este se ha dividido en 37 regiones hidrológicas, que incluyen 731 cuencas hidrológicas.

Para efectos de este manual tomaremos como la unidad de gestión la cuenca para diseñar e implantar nuestro SAT.

## Parte alta y baja de una cuenca

Toda cuenca tiene unas partes de terreno altas, en los cerros o montañas que las separan de otras cuencas, y una parte baja, en los terrenos cercanos a los cauces y cuerpos de agua interiores, o en su desembocadura al mar. Las partes bajas son las que son propensas a sufrir de inundaciones.

## Ubicación de la comunidad

Los centros de población o comunidades están dentro de una cuenca, y algunas de ellas pueden ser vulnerables a inundaciones dependiendo de su ubicación geográfica dentro de la cuenca como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Cuenca, población, y posibles zonas de inundación



## Sistema de Alerta Temprana

Conjunto de equipo hidrométrico y climatológico (PCD), de radiocomunicaciones (transmisores de radio y

satelitales), cómputo (PC y servidores) y personal, cuyo objetivo principal es alertar a la población oportunamente sobre el peligro de una inundación, lo anterior a fin de poder tomar las medidas necesarias para minimizar la pérdida de vidas humanas y animales, y de bienes materiales ver figura 3.

Para cumplir con este objetivo antes indicado se deben realizar principalmente las siguientes actividades: registro de lluvia y niveles; almacenamiento *in situ* de la lluvia y nivel; transmisión de los datos al CAPAH; almacenamiento en el CAPAH, de los datos recibidos; cálculo y pronóstico de las inundaciones; emisión de alerta a las autoridades y población en general, en su caso.

Figura 3. Esquema de un sistema de alerta temprana



## Paso 2. Reconocimiento de la cuenca

### Objetivo

Recopilación y análisis de información cartográfica, hidrológica, histórica y experiencia de la comunidad, delimitación de la cuenca y sus principales características; elaboración de un mapa de la comunidad y de riesgo.

### Recopilación de información cartográfica

En primera instancia es muy conveniente conseguir una carta topográfica escala 1:50,000, de la zona de interés, y si es posible la misma carta con relieve, a fin de definir los puntos altos y bajos de la cuenca de interés, si se dispone de personal profesional o una empresa que nos ayuda en los trabajos, se deberán determinar todas las características fisiográficas de las cuencas (área, pendiente,



longitud del cauce, entre otros), esta información se puede obtener fácilmente de INEGI.

### Recopilación de información hidrológica

Es importante para la modelación y previsión de inundaciones de recopilar toda la información disponible a nivel local o nacional (bancos de datos hidrométricos y climatológicos, de precipitaciones, escurrimientos, niveles de cuerpos de agua y sedimentos), éstos se pueden obtener de instituciones como CONAGIA, CFE, SCT, INEGI, entre otras.

### Recopilación de información histórica

Otra fuente de información pueden ser los archivos históricos, ya sean locales o nacionales, de donde se puede obtener información de las inundaciones y daños ocurridos en nuestra zona de estudio, se puede conseguir en la Hemeroteca Nacional, Archivo General de la Nación, entre otras.

### Recopilación de la experiencia de la comunidad

Utilizando el conocimiento y la experiencia de la comunidad acerca de las inundaciones, se puede obtener información para identificar los lugares vulnerables a inundaciones dentro de la comunidad y reconocer las características de los eventos de inundación que se repiten en la cuenca. Una forma de obtener esta información es aplicar un pequeño cuestionario a personas seleccionadas de la comunidad y completarlo con información histórica.

### Elaboración del mapa de la comunidad

Si no se cuenta con un mapa de la comunidad, entonces se tendrá que elaborar un mapa sencillo, donde se muestre la ubicación de las carreteras, avenidas, casas, colegios, municipalidad, iglesia, entre otras; con respecto a los cuerpos de agua que cruzan o que rodean a toda la comunidad. Si se cuenta con un mapa, se debe verificar que este refleje la realidad, de no ser así, se procederá a hacer las modificaciones que sean necesarias. La [figura 5](#) es un ejemplo de un mapa de una comunidad.

### Identificación de los lugares vulnerables a inundaciones en la comunidad y características de las mismas

Para poder identificar los sitios vulnerables a futuras inundaciones y reconocer las características de un posible

evento de inundación se debe recordar lo que pasó en las últimas inundaciones.

Pero no todas las inundaciones pasadas han sido iguales. En este manual, diferenciamos a las inundaciones de acuerdo a su magnitud, es decir, de acuerdo con la extensión y el nivel a que llegaron las aguas desbordadas. La identificación de la frecuencia con la que ocurren las diferentes inundaciones es muy importante porque permitirá un mejor pronóstico de las futuras inundaciones.



Foto 1. Mapa de la comunidad.

El [cuadro 1](#) muestra cómo se puede caracterizar una inundación pasada haciendo uso del conocimiento, experiencia y relatos noticiosos de una comunidad.

### CUADRO 1. Análisis del problema de inundaciones utilizando el conocimiento y experiencia de la comunidad

Nombre de la comunidad: Fecha de la inundación: Hora de la inundación:	
¿Por cuánto tiempo llovió antes de producirse la inundación?	
¿Cuánto tiempo se demoró el agua que se desbordó en llegar desde el punto más alto de la cuenca hasta el sitio vulnerable? (A este tiempo se le llama tiempo de concentración).	
¿Qué cambios se observó en el comportamiento de los ríos o quebradas en la parte alta de la cuenca?	
¿Cuál fue la extensión de la inundación? ¿Qué áreas de la comunidad se inundan: calles, casas, lugares públicos, entre otros?	
¿Hasta dónde llega el nivel de las aguas desbordadas hasta los tobillos, rodillas, cintura, 0.5 metros, 1 metro, la mitad del poste de luz, la ventana de las casas, entre otros?	
¿Con cuánta frecuencia se presenta este tipo de inundación, en términos de nivel de las aguas y extensión de la inundación: siempre, cada 2 años, 5 años, rara vez, etcétera? (A esta frecuencia se le llama tiempo de retorno).	
¿De dónde provienen las aguas que se desbordan: de la quebrada 1, quebrada 2, del río, de todas partes, etcétera?	
Espacio para anotar cualquier otra información que se conozca o se obtenga sobre esta inundación:	

#### Elaboración del mapa de las zonas vulnerables a inundaciones

Para elaborar el mapa de las zonas vulnerables a inundaciones se puede utilizar la [foto 1](#) como base y la información obtenida del [cuadro 1](#), para determinar aquellos lugares de la comunidad que tienen alto, mediano y bajo riesgo a inundaciones. La comunidad puede representar en el mapa las áreas de alto, mediano y bajo peligro respectivamente como se muestra en la [foto 2](#).



Foto 2. Mapa de las zonas vulnerables a inundaciones de la comunidad.

### Paso 3. Medición de la lluvia y nivel del agua en ríos

#### Objetivo

Instalación y mantenimiento de los equipos de medición, almacenamiento y transmisión de lluvia y niveles.

La medición de la lluvia y del nivel de agua de los ríos tiene por objetivo hacer un seguimiento de las condiciones hidrológicas que pueden producir una inundación. Los instrumentos de medición del volumen de lluvia y nivel de agua de los ríos se llaman pluviómetros y sensores de nivel (limnímetros, limnigrafos, entre otros). Los pluviómetros proveen información del volumen de agua que ya se encuentra en el suelo (lluvia caída) y los sensores de nivel proveen información sobre el crecimiento del nivel de agua en los cuerpos de agua. Generalmente, la información proporcionada por los sensores de nivel es suficiente para un pronóstico de inundación confiable. Sin embargo, el sistema de alerta temprana a desarrollar en este manual contará con una red de pluviómetros y sensores de nivel para poder brindar oportunamente los avisos de alerta, esto se logra con la medición en la parte alta de la cuenca y calculando su futuro impacto en los ríos. Esto permite disponer de un tiempo adicional para el alertamiento.

#### Plataformas Colectoras de Datos (PCD's)

Para la medición de los parámetros de precipitación y nivel de los ríos, se recomienda utilizar equipos de alta tecnología a fin de garantizar: la resistencia física de los equipos;



medición y almacenamientos de los datos; y trasmisión de la información; en situaciones climatológicas extremas. Además de poseer capacidad para medir otras variables climatológicas y de calidad del agua (velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa y absoluta, PH, Oxígeno disuelto, entre otras) que se pueden utilizar en la administración del recursos agua.

Existen en el mercado equipos de alta tecnología denominados "Plataformas Colectoras de Datos" (PCD's), que reúnen los puntos antes indicados, y que pueden ser adquiridos con instalación y puesta en marcha, capacitación y mantenimiento por un determinado tiempo. Dependiendo del número de variables hidrométricas y climatológicas que midan, se pueden clasificar en: climatológicas (precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa); hidrométricas (nivel de agua), o hidrométricas y climatológicas (precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, y nivel del agua).

Por último es importante señalar que dado que las PCD's son automáticas, programables y eléctricamente auto-alimentadas. Permiten la lectura *in situ* de parámetros climatológicos, con capacidad para monitorear variables de su propio funcionamiento (voltaje de batería, panel solar), permiten de manera automática transmisiones programadas de datos a través de los apropiados módulos de transmisión, utilizando el satélite GOES. La adquisición automática de los datos, la frecuencia de medición y los valores de umbrales de variación de los

sensores son programables por el usuario. Así mismo, es posible realizar cálculos de valores mínimos, máximos, promedios y desviaciones estándar, sobre períodos de tiempo definidos por el usuario y para cada sensor independientemente.

### Tipos de sensores de precipitación

Existen tres diferentes tipos de sensores de precipitación generalmente usados, que funcionan a partir de principios diferentes, estos son:

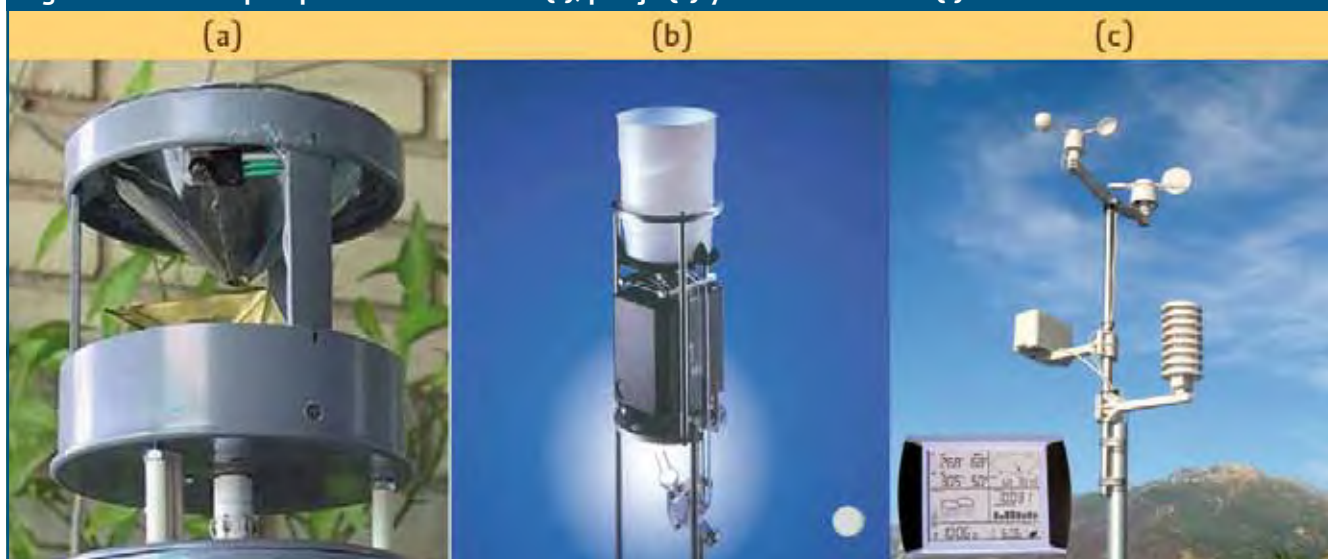
- Sensor de precipitación de cazoletas.
- Sensor de precipitación tipo pesaje.
- Sensor de precipitación detector de lluvia.

A continuación se explica brevemente el principio de funcionamiento de cada uno.

### Sensor de precipitación de cazoletas

El agua de lluvia es recogida por un primer embudo superior dotado de una embocadura metálica mecanizada con gran precisión. El agua recogida es guiada hasta un segundo embudo con sistema de rebose destinado a disminuir los efectos de la inercia antes de alcanzar las cazoletas basculantes. La primera cazoleta bascula después de recoger una cantidad de agua dada, cuyo volumen es función de la calibración del instrumento. Al bascular las cazoletas, se genera un cierre momentáneo de un interruptor *tip*, posicionándose además la segunda cazoleta para recoger el agua procedente del embudo. Una vez

Figura 4. Sensor de precipitación de cazoletas (a), pesaje (b) y detector de lluvia (c)



llena, las cazoletas basculan en sentido contrario produciéndose un nuevo contacto de relee repitiéndose el ciclo, el conteo de los *tips* de acuerdo a la calibración de los aparatos, se determina la cantidad de lluvia.

### Sensor de precipitación tipo pesaje

Este aparato funciona a partir de un sistema electrónico de pesaje, el cual almacena la lluvia en un recipiente plástico, montado sobre una báscula.

### Sensor de precipitación detector de lluvia

Es un detector de lluvia basado en el principio capacitivo. El valor de la capacidad del elemento sensible, sobre un soporte de alúmina, varía en función de la superficie mojada por las gotas de agua. Un calefactor integrado en el sensor lo mantiene seco y, evaporando el agua caída, evita señalizaciones erróneas debidas a la niebla o a fenómenos de condensación. El calefactor también se activa a temperaturas bajas, derritiendo la nieve y, permitiendo así, detectar precipitaciones de nieve. La envoltura externa hace de cortavientos, evitando falsas indicaciones ver [figura 4](#).

### Tipos de sensores de nivel de agua

Existen cuatro diferentes tipos de sensores de nivel de agua generalmente usados en la CONAGUA, que funcionan a partir de principios diferentes, éstos son:

- Sensor de nivel de agua tipo codificador angular (Shaft Encoder).
- Sensor de nivel de agua tipo burbujeo.
- Sensor de nivel de agua tipo transductor de presión.
- Sensor de nivel de agua tipo radar.

En las [figura 5](#) se muestran ejemplos de estos tipos de sensores.

### Equipo y aditamentos necesarios para el registro y transmisión de los datos

1. Una (1) unidad central colectora de datos (DataLogger) para la adquisición y almacenamiento en una memoria tipo EEPROM o similar. La unidad central deberá estar equipada con un despliegue alfanumérico tipo LCD o LED, con teclado, interruptor de encendido/apagado y capacidad mínima de diez (10) dígitos. La unidad de despliegue deberá ser resistente al agua de lluvia y a la humedad en condiciones de trabajo.

2. Una (1) caja de tipo NEMA 4, para contener y proteger a toda la PCD, incluyendo el transmisor GOES, la batería de alimentación, la unidad de despliegue y demás dispositivos estrictamente relacionados con la PCD.
3. Un (1) transmisor satelital apropiado al tipo de PCD y antena tipo Yagui o equivalente.
4. Un (1) dispositivo autónomo de alimentación de corriente con batería y panel solar, capaz de proporcionar tres veces el consumo medio diario de energía de la PCD.
5. Los conectores, protecciones y dispositivos necesarios para su fijación.
6. Los programas de cómputo de cada PCD, para la programación *in situ*.
7. Los sensores que se indican, con las especificaciones del [anexo 1](#).
8. Un sistema de protección primaria y secundaria contra sobrevoltaje por descargas eléctrica.

Figura 5. A y B, sensor de nivel tipo radar o ultrasónico; C, tipo burbujeo y D, tipo decodificador angular



### Procedimiento de instalación

El procedimiento de instalación es relativamente complejo, y como se mencionó anteriormente, se pueden adquirir las PCD's con o sin la instalación incluida, siempre que la dependencia cuente con personal certificado para realizar tales trabajos. Los trabajos en sí dependerán de cada sitio seleccionado, pero en general, se enfocarán a lo siguiente:

1. Recopilación de la información de los sitios propuestos.
2. Revisión y valoración de los sitios propuestos.
3. Sitios de control hidráulico.
4. Estudios topográficos y topobatimétricos.
5. Estudios de ingeniería geotécnica.
6. Estudio hidráulico-hidrológico.
7. Estudio de la instrumentación requerida (tipo de sensor de nivel de agua, etcétera).
8. Análisis, cálculo y diseño de obras complementarias (estructuras hidráulicas: pozos tranquilizadores o de reposo, sección de control, sistema cable-canastilla; escalas, entre otros).
9. Análisis, cálculo y diseño de: casetas de protección y cerco perimetral.
10. Construcción y/o rehabilitación de obras complementarias (estructuras hidráulicas y de protección).
11. Instalación y "puesta en operación" de los equipos automáticos (PCD's).
12. Calibración hidrológica, posterior a la "puesta en operación" de cada PCD.

En las fotos 3 y 4 se aprecia la manera de instalar una PCD hidrométrica y climatológica.



Foto 3. Instalación de la caseta de protección y caja NEMA de una PCD.



Foto 4. Instalación de la torre atirantada, panel solar y antena de comunicación de un PCD.

### Mantenimiento de las PCD's

Existen dos tipos de mantenimiento de las PCD's

#### Mantenimiento menor

Estos trabajos generalmente pueden realizarse por personal calificado de la misma dependencia, siendo principalmente los siguientes:

- Revisión de la torre, sus retenidas, y herrajes de montaje en general.
- Revisión del panel solar y la batería.
- Revisión de todas las conexiones.
- Revisión del funcionamiento de todos los sensores.
- Revisión externa del sensor de viento.
- Recuperación de todos los datos contenidos en el datalogger.
- Revisión del funcionamiento del transmisor GOES.
- Limpieza del sensor de precipitación, escudo solar del sensor de temperatura y humedad, y panel solar.
- Limpieza del sensor de nivel.
- Limpieza externa del gabinete que contiene el datalogger, el transmisor GOES, la batería, el

controlador de carga y el absorbedor de humedad del sensor de nivel.

### Mantenimiento mayor

Este además de los trabajos mencionados anteriormente, incluyen cambio de sensores dañados, panel solar, batería, y transmisor GOES, y solamente deberá realizarse por personal altamente calificado

### Criterios para la ubicación de PCD's, climatológicas

En los cálculos que realiza el subsistema de medición y procesamiento hidrológico se tiene contemplado la posible falla en la transmisión de la información de algunos pluviómetros durante algunos lapsos y la subsiguiente recuperación de datos a través del subsistema de telemetría.

La selección de los sitios para la instalación de las PCD's se realiza procurando tener una configuración uniforme, es decir, que cada una de las PCD's tuviera un área de cobertura casi igual. Se determinan sus coordenadas en el plano y se procede a una visita en el campo para su ubicación definitiva.

Se toma en cuenta que los sitios tengan buena comunicación vía satélite o radio con el puesto central y exista protección contra el vandalismo, por lo que se trata de ubicarlos en donde exista una estación convencional de la CONAGUA, edificios públicos, escuelas, entre otros; cerca de las coordenadas antes determinadas. En algunos casos no es posible encontrar tal infraestructura, y se construyen casetas.

### Criterios para la ubicación de PCD's, hidrométricas

En la aplicación de los modelos matemáticos lluvia-escorrentamiento se considera un valor del coeficiente de escorrentamiento, el cual posteriormente puede ser modificado de acuerdo con las mediciones de lluvia. Sin embargo, para escoger su valor es conveniente medir el gasto en algunos sitios y asociarlo con la lluvia que se presentó.

Para la zona de interés se identifican los ríos que podrían provocar mayores daños debido a su desbordamiento o por la intensidad de las velocidades de sus corrientes. Estos ríos y sus cuencas se analizan en planos a escala 1:50,000 y son corroborados en visitas de campo.

Se procede a delimitar las áreas de aportación de escorrentamiento con la topografía del terreno. De este modo se determinan las cuencas en las que se calculará la precipitación media y los sitios de sus cauces donde convendría

estimar el gasto de sus escurrimientos a partir del nivel del agua.

La ubicación y número de instrumentos de medición puede ser mejorados cuando se cuenta con la ayuda de un profesional (hidrólogo o ingeniero). Mientras tanto, se puede ir colocando las PCD's en los sitios que cumplan con el criterio mencionado anteriormente.

Después de la instalación de los instrumentos de medición se debe hacer una relación de los tipos de PCD's ubicados en el campo, especificando quién es el encargado. También se debe contar con un mapa donde se muestre la ubicación de las PCD's. La [figura 6](#) muestra el mapa de la cuenca del río Bravo, donde se señala la ubicación de las PCD's.

**Figura 6. Pluviómetros y sensores de nivel en la cuenca del río Bravo, México**



## Paso 4. Funcionamiento del sistema de alerta temprana

### Objetivo

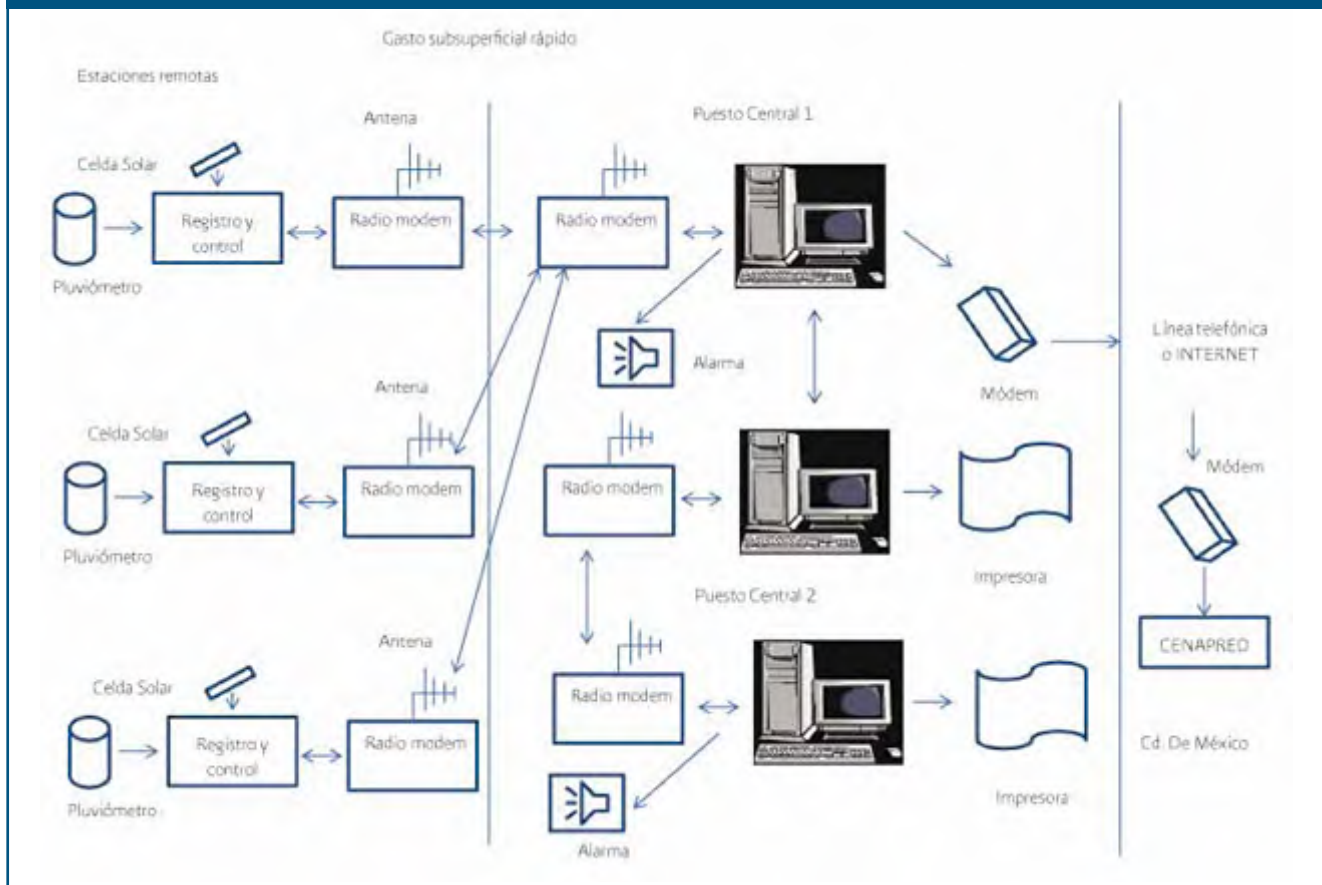
Lectura y almacenamiento, y transmisión de datos al CAPAH; recepción, almacenamiento, análisis hidrológico, pronóstico de inundaciones y difusión de la alerta.

El funcionamiento del sistema de alerta propiamente dicho consiste en la lectura y almacenamiento en el sitio de la medición de lluvia y nivel de agua de los ríos, transmisión de datos al CAPAH, recepción y almacenamiento de datos, procesamiento y análisis de los datos y pronóstico de inundaciones, y difusión de la alerta respectiva ver [figura 7](#).

A continuación se presenta de manera esquemática un ejemplo de los sistemas instalados en México, por el CENAPRED.



**Figura 7. Diagrama general de un Sistema de Alerta Hidrometeorológica del CENAPRED**



### Lectura y registro

Cuando se inicia la lluvia, los pluviómetros automáticos empiezan a registrar la precipitación al intervalo que se programen (1 seg, 1 min, 10 min...), y se mandan a la unidad de almacenamiento en sitio (datalogger), que se recomienda pueda almacenar datos hasta por 6 meses, con una memoria cíclica, es decir el primer dato en entrar es el primero en salir. De igual manera se realiza con el medidor de nivel.

En caso de que el sistema de trasmisión vía satélite o radio fallara, el personal encargado del sitio deberá tomar la lectura directamente del dispositivo de almacenamiento y transmitirlo vía radio, teléfono celular, etcétera, al CAPAH, en intervalos de 10 min, dependiendo de la intensidad de la lluvia, o incremento de los niveles de los ríos.

### Transmisión de datos

Después de que las lecturas han sido tomadas y almacenadas, se deben transmitir inmediatamente al CAPAH, para que los encargados de este centro realicen los cálculos

necesarios para el pronóstico de inundación (la manera de realizar el cálculo de la información recibida será explicada más adelante). La forma de transmitir los datos hasta el CAPAH debe ser lo más robusta posible y dispones de redundancia a fin de garantizar la comunicación en situación de emergencia, y utilizar los medios más modernos (radio comunicación, telefonía celular, vía satélite, entre otros).

### Recepción y almacenamiento de datos

Una vez realizada la emisión de datos la señal es captada por las antenas receptoras instaladas en el CAPAH (radio, satélite, teléfono celular, etcétera) se decodifica y trasmite a la unidad de almacenamiento y a un computador donde se muestran los datos recibidos, de precipitación y escalas.

### Procesamiento y análisis de los datos y pronóstico de inundaciones

En esta parte se efectúan los cálculos hidrológicos, para determinar los escurrimientos en todas y cada una de las

cuenas que nos ocupan, para ello se emplean programas de cómputo y modelos lluvia-escorrentamiento que utilizan las precipitaciones y características fisiográficas de cada cuenca, como: pendiente, longitud del cauce, orden de los arroyos, tipo de suelo, cubierta vegetal.

Así mismo los gastos calculados por los modelos se comparan con los niveles de alerta previamente determinados, a fin de emitir las alarmas respectivas.

Para llevar a cabo el análisis hidrológico de la cuenca se necesitan realizar las siguientes actividades:

### 1. Búsqueda de información hidrológica

El grupo de trabajo o empresa consultora encargados de esta actividad, deben obtener información de registros históricos de precipitación (registro de precipitación máxima en 24 horas y registro horario de tormenta) de la subcuenca en estudio. Si no los hubiera se deben utilizar los registros de una cuenca de similares características (clima, área, relieve, forma, entre otros). Esta información se puede obtener de los siguientes lugares:

- Estaciones pluviométricas del gobierno o de alguna empresa privada, ubicadas en el área de la subcuenca (CONAGUA, CFE, gobierno del estado).
- Estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca de mayor tamaño.
- Oficina de servicios de meteorología, recursos hídricos, recursos naturales, etcétera. En estas oficinas se preguntará por el registro más completo de precipitación que se tenga para la cuenca en estudio o para una cuenca con las mismas características de la subcuenca.

### 2. Análisis de la información histórica de precipitación

- Este análisis consistirá en realizar cálculos estadísticos para obtener la mínima cantidad de lluvia que puede causar una inundación.

### 3. Determinación de los niveles de alerta

- Los niveles de alerta sirven para darle a la población un tiempo de antelación suficiente para prepararse ante un evento de inundación. Estos niveles se pueden determinar elaborando una curva del comportamiento horario de la tormenta para un período de retorno previamente determinado por la comunidad. La curva del comportamiento horario se puede elaborar con un registro horario de la duración de una tormenta.

- A continuación se presenta un ejemplo de análisis hidrológico que se realizó para la cuenca del río Cuero en Honduras.

## Análisis hidrológico de la cuenca del río Cuero

### 1. Búsqueda de información hidrológica

Se obtuvo la información de precipitación máxima en milímetros (mm) de dos estaciones: la estación de Tela y la estación de Ceiba. Se seleccionó estas estaciones porque poseen el mayor número de registros de precipitación pasada. La información se remonta desde el año 1958 para la estación de Tela y desde 1965 para la de Ceiba. También se observa que estas estaciones no tienen muchos espacios en blanco, como se observará en los cuadros 4 y 5; por lo que la información de estas estaciones es considerada confiable.

### 2. Análisis de la información histórica de precipitación

#### 2.1 Máxima precipitación para cada año de registro

Para obtener el valor máximo de precipitación para un determinado año solamente se requiere reconocer cual es el valor más grande para ese año y colocarlos en una columna que se denominará MÁXIMO (ver cuadros 4 y 5).

Por ejemplo: en la estación de Tela, se colocó el valor de 168.7 mm en la columna llamada MÁXIMO, porque este valor representa la cantidad más grande de lluvia para el año de 1958 (ver el valor encerrado en un círculo en el cuadro 4). Así sucesivamente se sigue evaluando todos los años tanto para la estación Tela como para la estación Ceiba.

#### 2.2 Promedio y desviación estándar de los valores máximos

Luego de obtener los valores máximos y colocarlos en una columna, se debe proceder a calcular el promedio aritmético y la desviación estándar de estos valores. Se utilizarán las siguientes fórmulas:

#### Fórmula 1

$$X = \sum Xi / n$$



donde:

- $X$  = Promedio
- $\sum Xi$  = Suma de todos los valores de precipitaciones máximas para cada año
- $n$  = Número de años

#### Fórmula 2

$$S = \sqrt{\frac{(Xi - X)^2}{n - 1}}$$

donde:

- $S$  = Desviación estándar
- $Xi$  = Precipitación máxima de cada año
- $X$  = Promedio
- $n$  = Número de años

En el **cuadro 6**. Se presenta un método para simplificar el cálculo de las formulas presentadas anteriormente. Sólo se requerirá aplicar operaciones matemáticas básicas.

### 2.3 Cálculo estadístico

La experiencia ha demostrado que sólo los sucesos o eventos hidrológicos extremos son los que tienen importancia para la predicción de catástrofes hidrológicas como las inundaciones. Por esto, se debe analizar solamente la serie de datos de la columna máxima. Hay dos métodos estadísticos que se utilizan con frecuencia para determinar la probabilidad de la ocurrencia un evento extremo (cantidad de lluvia que provoca inundación). Estos dos métodos son la distribución tipo III Log-Pearson y la distribución tipo I de Gumbel.

Para este ejemplo, utilizaremos la distribución tipo I de Gumbel para hallar la precipitación máxima de la serie de datos de la columna máximo de las estaciones Ceiba y Tela. Sin embargo, el hidrólogo deberá analizar las series de datos y determinar el tipo de distribución a utilizar.

#### Fórmula 3

$$P \text{ máxima} = X + K \times S$$

donde:

- $P$  = Precipitación máxima
- $X$  = Promedio
- $K$  = Factor de frecuencia (ver cuadro 2)
- $S$  = Desviación estándar

Cuadro 2. Cálculo estadístico	
Período de retorno (años)	K
1.58	-0.45
2.00	-0.164
2.33	0.001
5	0.719
10	1.30
20	1.87
50	2.59
100	3.14
200	3.68
400	4.23

Fuente Adaptado de Linsley, 1982

#### Cálculo del valor K

Entonces se tienen los siguientes valores:

- Período de retorno = 2 años (figura 5)
- $K = -0.164$  (cuadro 2)
- $X = 298.04$  (cuadro 6)
- $S = 114.1$  (cuadro 6)

Reemplazando en la fórmula 3 se obtiene:

- $P_{\text{máx}} = 298.04 + (-0.164) \times (114.1) = 279.33$  mm de precipitación

Se repite el mismo procedimiento para la estación de la Tela, para la cual se obtuvo:

- $P_{\text{máx}} = 193.1 + (-0.164) \times (61.5) = 182.87$  mm de precipitación

Se obtiene el promedio de las precipitaciones máximas para la estación Tela y la estación Ceiba:

- Promedio de las dos estaciones =  $(279.33 + 182.87) / 2 = 231.1$  mm

A este resultado se le debe aplicar un factor por duración de tormenta, determinado por el hidrólogo, en este ejemplo utilizaremos el 13%, por lo que se tendrá:

- $231.1 + 231.1 \times 13/100 = 261.143$  mm de precipitación
- Este valor de 261.143 mm, será la cantidad de precipitación que causará una inundación en la parte baja de la subcuenca.

### 3. Determinación de los niveles de alerta

En las cuencas menores se puede igualar el tiempo de duración de la tormenta con el tiempo de concentración determinado por la comunidad. En este ejemplo, utilizaremos un período de concentración igual a tres horas. Se elaboró una curva usando el registro horario de una tormenta para un período de retorno de 2 años. Los niveles de alerta se determinaron de la curva, tal como se muestra en la [figura 8](#). De la curva se puede desarrollar un cuadro con los niveles de alerta como el que se presenta a continuación.

Cuadro 3. Niveles de alerta y acción a implementarse		
Tipo de alerta	Condición de alerta	Acción
Aviso	Promedio acumulado sobrepase los 70mm en la primera hora o si el nivel de la quebrada 1 es de 3m (esta información fue proporcionada por la comunidad en el paso 2, sin embargo será calibrada cuando ocurra una inundación)	Dar aviso a la comunidad para que le den seguimiento al comportamiento de las lluvias
Alerta	Promedio acumulado sobrepase los 80mm en la primera hora o 100mm en la segunda hora	Dar alerta a los encargados para implementar acciones previas a una inundación
Alarma	Promedio acumulado sobrepase la precipitación acumulada sobrepase los 100mm en la primera hora o 110mm en la segunda hora	Dar alarma a las comunidades aguas abajo para implementar planes de emergencia

### Actualización del análisis y parámetros de inundación

Este sistema está diseñado para ser aplicado en cuencas menores en donde por lo general no existen datos históricos de precipitación y de niveles del río o, de lo contrario, donde la información que existe proviene de una o dos estaciones que tienen información bastante corta o con lecturas de precipitación diaria que presentan condiciones fuera de la realidad.

Dadas estas condiciones, se debe evitar en lo posible la incongruencia entre la realidad y los pronósticos. Para

lograr esto, después de la instalación de los instrumentos de medición y la recopilación de información de datos tomados durante una inundación, es necesario revisar y/o actualizar el análisis hidrológico y los parámetros producto de ese análisis. Adicionalmente, es necesario que después de una inundación se inspeccionen los sitios donde están colocadas las escalas hidrométricas y las comunidades afectadas, con el propósito de observar los cambios sufridos por el cauce del río y los niveles que alcanzaron las aguas.

Cuadro 4. Precipitación máxima en 24 h (mm), estación de Tela, Honduras

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAXIMO
1960			172.1	31.0	31.7	37.3	97.0	20.2	21	168.7	31.0	20	168.7
1961	118.4	59.1	35.0	81.3	59.2	31.0	57.1	20.4	128.7	37.0	100.0	20.4	128.7
1962	85.9	128.5	77.0	50.2	34.1	30.2	28.6	30.0	21.4	21.1	112.6	132.7	132.7
1963	130.3	200.2	18.3	18.3	18.7	28.1	37.4	34.7	137.4	30.9	44.7	137.0	200.2
1964	113.1	118.4	30.3	102.0	18.1	31.4	34.7	84.3	30.8	130.1	29.9	31.0	118.4
1965	47.2	118.4	31.2	14.7	28.4	17.8	21.8	31.3	42.4	20.8	109.2	27	118.4
1966	88.6	100.0	11.8	14.3	18.7	20.4	31.0	24.1	43.1	100.9	120.3	100.9	100.9
1967	47.2	128.5	31.0	20.2	14.0	20.1	48.0	22.3	27.2	216.0	37.6	112.0	216.0
1968	135.0	179.8	36.1	32.1	23.4	179.6	27.8	23.7	26.2	129.7	28.3	127.7	179.8
1969	100.0	101.5	11.4	103.4	48.0	28.1	28.1	21.9	31.4	119.7	100.0	88.9	101.5
1970	60.3	60.0	21.8	6.0	20.6	29.0	33.0	20.4	94.7	21.2	92.1	154.7	154.7
1971	48.7	31.0	89.8	18.5	96.8	20.1	21.2	21.2	129.4	120.0	31.8	31.8	129.4
1972	28.4	81.0	62.8	11.0	14.9	129.4	41.2	25.2	77.4	31.0	34.0	124.6	129.4
1973	34.5	118.4	17.0	112.1	41	40.8	21.2	40.2	61.0	20.8	27.4	20.8	118.4
1974	27.1	110.9	10.1	13.0	24.3	31.0	41.0	37.0	40.0	10.1	20.1	40.1	40.1
1975	30.1	87.1	26.9	30.0	68.1	31.0	109.4	34.1	20.1	21.0	31.0	120.0	120.0
1976	40.2	56.5	40	11.0	37	31.2	31.0	26.1	199.7	47.6	30.1	120.0	199.7
1977	40.1	24.0	0.8	2.2	2.4	21.4	20.0	20.1	20.1	44.1	44.1	44.1	44.1
1978	121.4	40.1	0.0	60.1	21.0	20.5	31.2	20.5	20.4	221.1	120.0	37.0	221.1
1979	62.4	117.4	40.1	47.1	70.0	31.8	31.0	44.1	47.0	47.0	100.0	44.1	100.0
1980	76.3	111.5	96.0	1.0	51	40.0	41.0	22.0	20.0	22.0	20.0	100.7	220.0
1981	124.6	129.5	39.0	0.1	0.0	31.7	123.5	22.0	20.5	24.0	107.0	119.0	129.5
1982	38.2	20.0	7.9	126.4	14.0	44.9	21.9	30.3	144.0	100.1	114.0	100.1	144.0
1983	40.2	112.3	47.0	20.2	11.5	34.2	39.1	71.0	105.5	107.0	30.4	94.0	107.0
1984	67.7	31.3	81.0	11.8	27.9	21.2	21.2	24.0	21.5	21.5	21.5	21.5	81.0
1985	40.4	28.5	21.3	77.0	11.2	7.0	144.0	21.0	20.1	34.1	74.2	106.0	144.0
1986	40.7	100.0	70.0	40.2	11.4	20.5	31.0	20.4	21.2	11.0	102.0	20.7	102.0
1987	101.4	41.1	80.0	80.1	16.0	31.0	41.0	40.0	31.0	40.0	100.0	100.0	100.0
1988	71.2	10.0	100.4	20.4	20.7	21.0	21.2	40.0	40.0	100.0	37.0	120.0	100.0
1989	80.4	39.0	39.5	20.1	7.7	11.0	11.2	37.3	30.7	121.7	111.4	312.0	312.0
1990	61.2	47.0	117.1	111.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
1991	47.0	30.1	30.2	20.2	20.2	21.7	27.7	40.0	105.2	140.0	120.0	121.0	121.0
1992	104.2	120.0	70.4	113.4	30.0	40.0	21.2	24.4	21.6	21.0	200.7	211.0	211.0
1993	30.7	37.0	40.0	20.0	21	20.0	20.4	141.1	40.0	100.0	200.1	40.2	200.1
1994	117.0	30.2	20.7	126.7	120.7	20.2	20.5	20.2	20.0	40.0	47.0	120.1	126.7
1995	21.4	20.7	176.1	40.7	11.4	20.4	24.9	11.0	100.1	100.0	44.9	40.0	176.1
1996	142.4	27.5	124.1	31.0	21.0	21	20.0	40.1	40.0	20.9	114.0	20.0	124.1
1997	61.7	60.7	10.0	9.0	1.0	40.0	40.1	20.1	109.5	114.1	121.1	120.3	121.1
1998	21.0	121.5	101.0	108.1	20.0	20.0	31.0	37.0	37.0	120.0	200.0	27.0	200.0

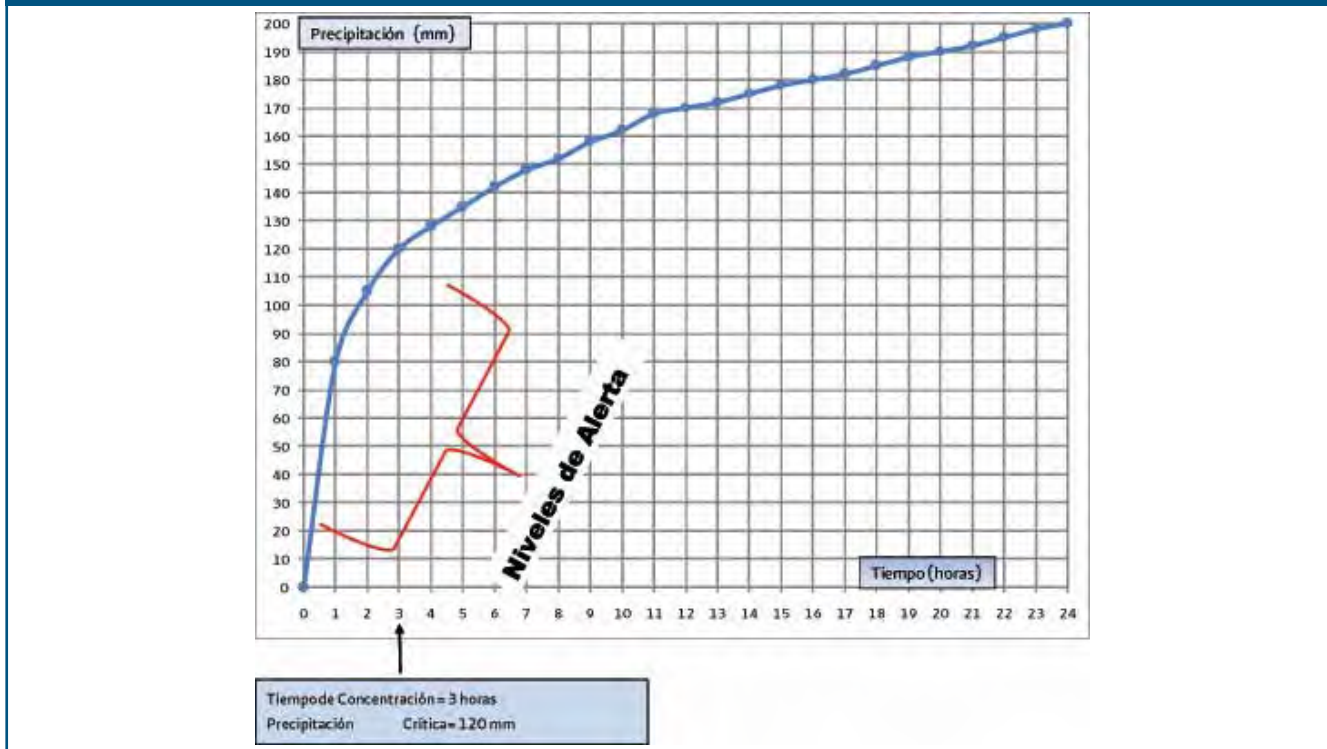
Cuadro 5. Precipitación máxima en 24 h (mm), estación de la Ceiba, Honduras

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	77.8	107	144.0	85	26.8	27.1			81.7	84.3	80.0	88	148.8
1969	51.7	52.1	100.0	14.7	28.8				29.6				101.0
1970	50.7	33.2	59.0	20.0	20.0	20.7	52.0	84.3	84.0	187.0	67.0	24.0	249.8
1971	113.0	11.0	100.0	18.2	84.8	40.0	86.0	81.3	89.0	100.0	80.0	100.0	98.0
1972	103.0	24.0	101.0	22.0	113.0		20.0	27.7		20.0	10.0	89.0	168.0
1973	21.4	28.0	136.1	30.0	2.0					48.0	84.1	100.0	
1974	89.0	100.0	100.0	88.0	86.0	81.7	16.0	86.7	88.0	100.0	80.0	89.0	180.7
1975	33.0	20.0	20.0	80.0	25.0	100.0	17.0	120.0	80.0	81.1	25.0	20.0	211.2
1976	119.0	100.0	110.0	100.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	194.0
1977	30.0	30.0	12.7	12.0	37.5	80.0	80.0	80.0	80.0	100.0	80.0	80.0	90.0
1978	117.0	89.0	7.0	3.5	0.7	22.1	20.7	80.0	80.0	84.3	188.0	80.0	188.0
1979	54.0	80.0	3.0	88.0	84.0	47.0	20.0	8.0	16.7	177.0	188.0	80.0	361.0
1979	20.0	114.0	13.0	34.7	80.0	180.0	27.0	80.0	80.0	274.0	100.0	27.0	588.0
1979	30.0	20.0	188.0	7.0	11.0	25.0	70.0	40.0	20.0	180.0	113.0	88.0	248.0
1979	144.0	100.0	100.0	10.0	6.0	80.0	10.0	90.0	80.0	80.0	48.0	80.0	277.0
1980	184.0	78.0	12.0	173.0	5.0	42.0	50.0	172.0	82.0	180.0	50.0	71.0	350.0
1981	42.0	89.0	21.0	49.0	44.0	41.0	32.0	84.0	80.0	100.0	188.0	80.0	302.0
1981	34.0	14.0	100.0	7.0	80.0	80.0	19.0	87.0	44.7	87.0	280.0	1.0	251.0
1982	63.0	54.0	8.0	50.7	0.2	20.0	68.0	118.1	73.0	118.0	200.0	20.0	118.0
1984	114.0	40.0	10.0	10.0	80.0	8.0	100.0	80.0	80.0	110.0	20.0	18.0	248.0
1985	270.0	202.0	47.0	47.0	21.0	7.0	65.0	20.0	11.7	102.0	80.0	80.0	270.0
1986	175.0	13.0	405.0	21.0	10.0	34.0	33.0	81.0	82.0	110.0	80.0	80.0	805.0
1987	108.0	118.0	101.0	63.7	18.1	29.8	56.7	80.0	18.4	110.0	180.0	17.0	368.0
1988	150.0	84.1	118.0	100.0	0.0	81.0	40.0	17.0	80.7	100.0	31.0	20.0	350.0
1988	114.0	260.0	185.0	71.7	28.7	25.0	37.0	83.1	80.0	200.0	180.0	80.0	380.0
1989	100.0	100.0	10.0	10.0	40.0	14.0	14.0	90.0	80.0	84.0	184.0	80.0	280.0
1991	280.0	12.7	80.0	123.0	18.0	82.0	80.0	84.0	47.0	210.0	180.0	37.0	380.0
1992	80.0	100.0	101.0	10.0	10.0	70.0	22.0	22.0	78.0	180.0	110.0	70.0	180.0
1993	34.0	100.0	10.0	10.0	70.0	80.0	30.0	30.0	10.0	201.0	10.0	80.0	350.0
1994	280.0	60.0	10.0	10.0	20.0	75.0	16.0	10.0	90.0	8.0	80.0	10.0	280.0
1995	80.0	84.0	84.0	8.0	8.0	32.0	80.0	80.0	10.0	100.0	20.0	10.0	300.0
1996	100.0	100.0	100.0	101.7	34.0	20.0	17.0	20.0	10.0	180.0	10.0	10.0	250.0

Cuadro 6. Cálculo para obtener el promedio y desviación estándar de la precipitación máxima de la estación Ceiba

x	x <sup>2</sup>	x - 798.04	(x - 798.04) <sup>2</sup>	x	x <sup>2</sup>	x - 798.04	(x - 798.04) <sup>2</sup>
187.8	35280.84	-298.24	88944.64	135.24	18291.76	-135.24	18291.76
408.9	167181.21	-298.24	88944.64	192.14	36917.64	-192.14	36917.64
347.0	120409.00	-298.24	88944.64	30.00	900.00	-268.24	71954.56
80.0	6400.00	-298.24	88944.64	4.00	16.00	-294.24	86560.64
129.0	16641.00	-298.24	88944.64	139.74	19527.26	-159.74	25518.86
168.0	28224.00	-298.24	88944.64	179.00	32041.00	-219.04	47977.64
188.7	35603.69	-298.24	88944.64	179.84	32340.46	-218.20	47610.84
221.0	48841.00	-298.24	88944.64	70.54	4975.81	-227.50	51750.25
84.0	7056.00	-298.24	88944.64	8.00	64.00	-290.24	84239.16
808.0	652864.00	-298.24	88944.64	10.00	100.00	-308.24	94991.84
184.0	33856.00	-298.24	88944.64	154.04	23720.42	-144.04	20747.52
80.0	6400.00	-298.24	88944.64	83.24	6929.02	-214.80	46131.84
250.0	62500.00	-298.24	88944.64	258.24	66687.22	-201.76	40708.58
218.4	47698.56	-298.24	88944.64	79.84	6374.42	-218.20	47610.84
477.2	227700.84	-298.24	88944.64	179.14	32091.26	-179.14	32091.26
351.0	123201.00	-298.24	88944.64	55.00	3025.00	-243.24	59168.82
148.0	21904.00	-298.24	88944.64	30.40	924.16	-267.64	71637.06
266.0	70756.00	-298.24	88944.64	31.94	1020.32	-266.10	70682.21
118.0	13924.00	-298.24	88944.64	20.70	428.49	-277.34	76917.16
402.0	161604.00	-298.24	88944.64	144.60	20909.16	-153.44	23543.84
170.0	28900.00	-298.24	88944.64	27.14	738.58	-270.90	73592.81
405.0	164025.00	-298.24	88944.64	107.54	11565.42	-190.50	36290.25
130.0	16900.00	-298.24	88944.64	38.20	1459.24	-259.84	67518.82
230.0	52900.00	-298.24	88944.64	60.04	3604.82	-238.20	56751.24
180.0	32400.00	-298.24	88944.64	82.70	6839.29	-215.34	46371.16
189.2	35796.64	-298.24	88944.64	91.30	8335.69	-206.74	42731.16
280.0	78400.00	-298.24	88944.64	13.44	180.63	-284.60	80988.16
182.0	33124.00	-298.24	88944.64	115.14	13257.16	-182.90	33448.41
182.0	33124.00	-298.24	88944.64	21.94	481.52	-276.10	76227.21
551.0	303601.00	-298.24	88944.64	21.94	481.52	-276.10	76227.21
190.0	36100.00	-298.24	88944.64	-17.44	304.15	-280.48	78669.04
293.0	85849.00	-298.24	88944.64	-5.84	34.10	-293.88	86353.84
100.0	10000.00	-298.24	88944.64	32.20	1036.84	-265.84	70671.84
280.0	78400.00	-298.24	88944.64	0.00	0.00	0.00	0.00
298.0	88804.00	-298.24	88944.64	0.00	0.00	0.00	0.00
Suma	931130.00	Suma	0.00	Suma	40589.70	Suma	40589.70
Promedio	798.04						
Desviación Estándar	$s = \sqrt{1.6222} = 1.274$						

Figura 8. Precipitación acumulada para una tormenta de período de retorno de 2 años



## Paso 5. Evaluación de la situación, difusión de la alerta y plan de emergencia

### Objetivo

Aviso de alerta a toda la comunidad cuando hay peligro de inundación.

Cualquier comunidad que es vulnerable a inundaciones debe siempre contar con un plan de emergencia para así saber responder ante un posible peligro de inundación. Este plan consiste en haber pensado de antemano en una serie de medidas que tienen por finalidad brindar seguridad a la población.

### Evaluación de la situación

Cuando los encargados de procesar los datos hidrológicos en el centro de operaciones de emergencia se dan cuenta que los datos recibidos indican que puede venir una inundación (cuadro 3), comunican de esta situación a la persona responsable. Hay tres tipos diferentes de condiciones:

- Aviso de inundación. Lo emite el CAPAH para que todos los voluntarios leedores de mediciones, todos los encargados del plan de emergencia y todos los pobladores en general le den seguimiento al comportamiento de las lluvias.
- Alerta de inundación. Lo emite el CAPAH para que los diferentes grupos de voluntarios y personal encargado se preparen y ejecuten las acciones previas a una inundación.
- Alarma de inundación. Lo emite el presidente municipal o máxima autoridad. Se ordenará la evacuación de los pobladores a los albergues y las otras acciones especificadas en el plan de emergencia.

### Difusión de la alerta

La alerta se difundirá utilizando la radio local, la campana de iglesia, radioparlantes, bocinas, sirena, bandera roja y cualquier otro instrumento que tenga el mayor alcance para que toda la comunidad pueda ser avisada.

### Plan de emergencia

#### Conocimiento del plan de emergencia

Es muy importante que la comunidad conozca qué hacer en caso de una inundación; es decir, sepa dónde queda el albergue, cuál es la ruta de evacuación o salida, y cómo

se puede salvar o proteger los objetos personales. El plan de emergencia y el mapa de evacuación deben estar a la vista en los hogares de los habitantes de la comunidad. Por ejemplo: se puede colocar el mapa de evacuación en la sala de la casa, o en otro lugar donde haya bastante visibilidad.

### Características de un plan de emergencia

Las siguientes tablas muestran las características que debe tener todo plan de emergencia:

#### 1. Organización del comité de emergencia local

Presidente:
Vice-Presidente:
Secretario:
Tesorero:
Fiscal:
Coordinador de Salud:
Coordinador de Educación:
Coordinador Evacuación y Rescate:
Coordinador de Seguridad:
Coordinador de Recursos Disponibles:
Representantes del Sector Público:
Representantes del Sector Privado:

#### 2. Alerta

Responsables de la alerta:
Presidente:
Vice-Presidente:
En ausencia de los anteriores:

#### 3. Alarma

En caso de que sea necesario iniciar la evacuación se activará la alarma en la siguiente forma (indicar el sonido que se utilizará):

#### 4. De acuerdo con el mapa de vulnerabilidad las zonas de alto riesgo son las siguientes:

a)	Habitantes:	Casas:
b)	Habitantes:	Casas:
c)	Habitantes:	Casas:



## 5. Actividades a realizarse

Las actividades siguientes deben ser asignadas al comité de emergencia local organizado previamente:

- Transportar a la gente a los albergues.
- Trasladar ayuda a los damnificados, como: agua, medicinas, entre otros.
- Coordinar las actividades para el rescate utilizando la ruta de evacuación.
- Buscar y rescatar a las personas desaparecidas.
- Dar seguridad a los pobladores y sus pertenencias.
- Vigilar los centros de distribución de alimentos y de ayuda en general.
- Atender a heridos y enfermos.
- Mantener un registro de la población afectada.
- Distribuir alimentos en los albergues.

### Ruta de evacuación

La comunidad debe saber por dónde evacuar en caso de una emergencia de inundación. La ruta de evacuación puede estar descrita en un mapa, el cual debe estar en un lugar visible en los hogares de los miembros de la comunidad. Este mapa debe mostrar la ruta más segura para llegar al albergue previamente establecido.

## Referencias bibliográficas

- CENAPRED (2002). Informe Técnico *Sistemas de Alerta Hidrometeorológica en Acapulco, Tijuana, Motozintla, Tapachula y Monterrey*, México.
- CENAPRED. Seminario-taller sobre: *Reducción de riesgos ante la ocurrencia de desastres naturales en América Latina y el Caribe*. 23 y 24 de marzo de 2006, México D.F.
- CENAPRED (2006). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos "Fenómenos Hidrometeorológicos"*.
- Organización de las Naciones Unidas, (2006), EWC III. *Tercera Conferencia Internacional sobre Alerta Temprana (del concepto a la acción)*. *Desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana: "Lista de comprobación"*; Bonn, Alemania
- Organización de los Estados Americanos y Gobierno de Irlanda. *Manual para el diseño e implementación de un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones en cuencas menores*. Washington, D.C, 2001.

## 4.5 Planes de emergencia

México por su naturaleza y condiciones geográficas sufre el embate de una amplia gama de fenómenos naturales como: sismos, inundaciones, erupciones volcánicas y deslizamientos de tierras, entre otros, estos fenómenos crean situaciones de emergencia que requieren la atención organizada y efectiva de la sociedad y del gobierno.

El cambio climático, el calentamiento global, el ascenso del nivel del mar, las lluvias torrenciales catastróficas en un corto periodo de tiempo, la mayor frecuencia de huracanes, la erosión de los litorales, la pérdida de suelo fértil, la marginación social, la incertidumbre económica, y como sinergia, la crisis energética afectarán agresivamente a las futuras generaciones de nuestro país y del mundo.

El cambio climático es un factor iniciado y que se desarrolla aceleradamente, el enfoque actual será en la planeación y en la medición de indicadores.

La atención debe ser planeada y ejecutada para atender las necesidades que se crean en densos centros urbanos, o bien en comunidades rurales dispersas, aisladas y/o pobres, en ambos casos la atención debe ser expedita y certera para ser eficiente.

Cada año llegan al país un promedio de 30 huracanes; de este total, cuatro o cinco suelen penetrar en el territorio y causar daños severos. Las lluvias intensas y las consecuentes inundaciones y deslaves importantes se presentan también de manera independiente de la actividad ciclónica y son resultado de las tormentas generadas en la temporada de lluvias.

Se sabe bien que, desde tiempos muy antiguos los principales asentamientos humanos se han establecido en las riberas fluviales de los valles, buscando el beneficio del agua, tanto para sus necesidades vitales como para el riego destinado a la producción alimenticia.

En el curso de la historia del hombre, el desarrollo y avances sociales de su civilización han tenido como resultado el crecimiento constante de sus áreas pobladas y cultivadas; de manera que los valles planos de origen aluvial están resultando insuficientes para cubrir las necesidades de asentamientos poblacionales.

Por su parte, el crecimiento demográfico ha ocasionado que los terrenos de cultivo en valles y laderas

suaves, sean llevados a laderas y colinas montañosas de fuertes pendientes; en las cuales al practicarse los barbechos en seco, es decir, antes del período de lluvias y al presentarse éste, grandes cantidades de sólidos son arrastrados y llevados en suspensión por las crecientes hasta las planicies.

Esta acción en sí, es considerada como el peor perjuicio para los valles (laderas y planicies) dentro del proceso hidrodinámico del ciclo hidrológico.

De una u otra forma, el sistema ecológico se ve alterado bajo la influencia del hombre y para el hombre mismo; quien va invadiendo progresivamente las llanuras sujetas al desbordamiento de grandes caudales por lo que se ve urgido en proteger su vida y propiedades.

Los pobladores de estas regiones sufren inundaciones de magnitudes anuales crecientes, ante las cuales enfrentan en ocasiones luchas rudimentarias contra las situaciones derivadas de tales inundaciones, pero generalmente efectúan grandes inversiones para contrarrestar los daños probables.

Fundamentalmente, los problemas de inundación se generan en los tramos de cauces con llanuras o valles aluviales, los cuales casi siempre son de pendientes reducidas o de zonas adyacentes planas, influyendo esto en la velocidad torrencial de montaña la cual disminuye, depositando la mayor parte de los sedimentos arrastrados por la corriente y aumentando con ello el lecho del cauce; lo que repercute en las áreas adyacentes al ser invadidas por las crecientes cada vez y con mayor frecuencia.

Estos desbordamientos dependerán del tipo y distribución que tengan las lluvias en una cuenca, aunado a que los escurrimientos provocados por ellas sean en general variables y modificados por la alteración de los sistemas ecológico e hidrológico.

Considerando los ciclones tropicales que nos impactan y la magnitud de las inundaciones; así como, los daños que provocan, nos han demostrado que no dependen exclusivamente de la magnitud de las avenidas, ya que conforme se han incrementado las obras de control, mediante la construcción de presas y obras de protección, se han desarrollado demográfica y económicamente mejor las zonas protegidas, algo más preocupante es el crecimiento demográfico no planeado en las principales ciudades del país, que han propiciado la invasión de cauces y zonas federales inundables, lo cual incrementa su vulnerabilidad.



El desarrollo económico alcanzado por el país y la necesidad de proporcionar seguridad y mejores condiciones de vida a la población, hace necesario atender el problema de las inundaciones con una visión global.

Un programa efectivo de control de avenidas y prevención de daños por inundaciones en una cuenca hidrológica debe ser integral, compuesta de acciones de infraestructura y acciones institucionales.

Un elemento esencial en la atención de la problemática de las inundaciones es la descentralización de las actividades, con normatividad que se fije centralmente, con una participación coordinada de las autoridades en sus tres niveles, con el apoyo de los habitantes de las comunidades involucradas, para propiciar una eficiente colaboración en labores de auxilio y rescate en casos de desastre.

En congruencia con los lineamientos que fija el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, se reafirman los siguientes objetivos:

1. Garantizar la seguridad nacional, salvaguardar la paz, la integridad, la independencia y la soberanía del país, y asegurar la viabilidad del Estado y de la democracia.
2. Garantizar la vigencia plena del Estado de Derecho, fortalecer el marco institucional y afianzar una sólida cultura de legalidad para que los mexicanos vean realmente protegida su integridad física, su familia y su patrimonio en un marco de convivencia social armónica.
3. Alcanzar un crecimiento económico sostenido más acelerado y generar los empleos formales que permitan a todos los mexicanos, especialmente a aquellos que viven en pobreza, tener un ingreso digno y mejorar su calidad de vida.
4. Tener una economía competitiva que ofrezca bienes y servicios de calidad a precios accesibles, mediante el aumento de la productividad, la competencia económica, la inversión en infraestructura, el fortalecimiento del mercado interno y la creación de condiciones favorables para el desarrollo de las empresas, especialmente las micro, pequeñas y medianas.
5. Reducir la pobreza extrema y asegurar la igualdad de oportunidades y la ampliación de capacidades para que todos los mexicanos mejoren significativamente su calidad de vida y tengan garantizados la alimentación, salud, educación, vivienda digna y un medio

ambiente adecuado para su desarrollo tal y como lo establece la Constitución.

6. Reducir significativamente las brechas sociales, económicas y culturales persistentes en la sociedad, y que esto se traduzca en que los mexicanos sean tratados con equidad y justicia en todas las esferas de su vida, de tal manera que no exista forma alguna de discriminación.
7. Garantizar que los mexicanos cuenten con oportunidades efectivas para ejercer a plenitud sus derechos ciudadanos y para participar activamente en la vida política, cultural, económica y social de sus comunidades y del país.
8. Asegurar la sustentabilidad ambiental mediante la participación responsable de los mexicanos en el cuidado, la protección, la preservación y el aprovechamiento racional de la riqueza natural del país, logrando así afianzar el desarrollo económico y social sin comprometer el patrimonio natural y la calidad de vida de las generaciones futuras.
9. Consolidar un régimen democrático, a través del acuerdo y el diálogo entre los Poderes de la Unión, los órdenes de gobierno, los partidos políticos y los ciudadanos, que se traduzca en condiciones efectivas para que los mexicanos puedan prosperar con su propio esfuerzo y esté fundamentado en valores como la libertad, la legalidad, la pluralidad, la honestidad, la tolerancia y el ejercicio ético del poder.
10. Aprovechar los beneficios de un mundo globalizado para impulsar el desarrollo nacional y proyectar los intereses de México en el exterior, con base en la fuerza de su identidad nacional y su cultura; y asumiendo su responsabilidad como promotor del progreso y de la convivencia pacífica entre las naciones.

Deseamos ser una nación que cuente con agua en cantidad y calidad suficiente, reconozca su valor estratégico, la utilice de manera eficiente y proteja los cuerpos de agua, para garantizar un desarrollo sustentable y preservar el medio ambiente.

Para lograr estos propósitos y a partir de los avances logrados en los últimos años y del análisis de la situación actual, en el Programa Nacional Hídrico 2007-2012 se establecen los siguientes objetivos:

1. Mejorar la productividad del agua en el sector agrícola.
2. Incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

3. Promover el manejo integrado y sustentable del agua en cuencas y acuíferos.
4. Mejorar el desarrollo técnico, administrativo y financiero del Sector Hidráulico.
5. Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura de su buen uso.
6. Prevenir los riesgos derivados de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos y atender sus efectos.
7. Evaluar los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico.
8. Crear una cultura contributiva y de cumplimiento a la Ley de Aguas Nacionales en materia administrativa.

Para cada uno de estos objetivos, se han establecido las estrategias correspondientes y las metas asociadas a cada una de ellas. Adicionalmente, se incluyen las instituciones y organizaciones que tienen mayor relevancia para el logro de cada objetivo, así como los retos a superar para alcanzar las metas previstas.

## Fundamento legal

La política del agua en México tiene sus orígenes en la Constitución de 1917, donde se declara el agua como un recurso de propiedad nacional, la cual puede ser únicamente utilizada a través de una autorización expedida por la autoridad federal correspondiente.

## Visión integral de la evolución del sector

Las acciones que lleva a cabo la Comisión Nacional del Agua, forman parte de una estrategia integral para apoyar un profundo proceso de cambio. La institución evoluciona hacia una estructura cuya función predominante será de carácter normativo en materia de administración del agua y sus bienes inherentes; así como, de apoyo técnico especializado dentro de un esquema de organización por cuencas y regiones hidrológicas.

La Comisión Nacional del Agua, no sólo tiene funciones normativas, también financieras, operativas, de construcción y de promoción del desarrollo hidráulico, las cuales realiza desde una estructura centralizada y ordenada de acuerdo con la división política del país.

La Comisión Nacional del Agua a partir de su creación el 16 de enero de 1989, tiene como función principal:

Administrar las Aguas Nacionales y adecuar su utilización a las distintas necesidades de la sociedad, en cantidad y calidad, en tiempo y espacio, procurando además lo necesario para conservar el recurso y mantener su papel como soporte para el desarrollo socioeconómico del país.

La Ley de Aguas Nacionales basada en el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, referente a las Aguas Nacionales, dice en el Artículo 83 del Capítulo V "Control de Avenidas y Protección Contra Inundaciones" que:

La Comisión Nacional del Agua en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, o en concertación con personas físicas o morales, podrá construir y operar, según sea el caso, las obras para el control de avenidas y protección de zonas inundables, así como caminos y obras complementarias que hagan posible el aprovechamiento de las tierras y la protección a centros de población, industriales y, en general, a las vidas de las personas y de sus bienes, conforme a las disposiciones del Título Octavo.

La Comisión en los términos de su reglamento clasificará las zonas en atención a los riesgos de posible inundación, emitirá las normas y recomendaciones necesarias, establecerá las medidas de operación, control y seguimiento, y aplicará los fondos de contingencia que se integren al efecto.

En el mismo capítulo, en los artículos comprendidos del 127 al 131 de su Reglamento dice:

La Comisión fomentará el establecimiento de programas integrales de control de avenidas y prevención de daños por inundaciones, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativas que al efecto se requieran. Dentro de la programación hidráulica se fomentará el desarrollo de proyectos de infraestructura para usos múltiples, en los cuales se considere el control de avenidas y la protección contra inundaciones.

Conforme a lo anterior la Comisión podrá prestar asesoría y apoyo técnico que se le requieran para el diseño y construcción de las obras que controlen corrientes de propiedad nacional, así como las relativas a la delimitación de las zonas federales. El comportamiento y operación de las obras que no diseñe o construya directamente la Comisión será responsabilidad de quien las realice.

La Comisión establecerá un sistema de pronóstico y alerta contra inundaciones y organizará la formulación de planes regionales de operación para aminorar los daños por inundaciones e implementar las medidas de emergencia conducentes.

La Comisión en el ámbito de su competencia y en coordinación con las demás autoridades competentes y con las personas responsables, promoverá la integración y actualización de un inventario del estado de las obras hidráulicas públicas, privadas o sociales, con la finalidad de identificar medidas necesarias para la protección de la infraestructura hidráulica.

De acuerdo a lo anterior, la ejecución de las medidas identificadas será responsabilidad de los titulares de las obras y en su caso de los administradores o concesionarios que tengan a su cargo la operación y conservación, sin perjuicio de la responsabilidad que corresponda a los primeros.

La Comisión conforme a los lineamientos que acuerde su Consejo Técnico, promoverá el establecimiento y aplicación de fondos de contingencia, integrados con aportaciones de la federación, de los gobiernos de las entidades federativas y de las personas interesadas para lograr la disminución de daños y prevenir la solución de problemas.

Para efectos del Artículo 83 y 98 de la Ley, La Comisión, otorgará el permiso para la construcción de obras públicas de protección contra inundaciones o promoverá su construcción y operación, según sea el caso, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales o en concertación con las personas físicas o morales interesadas.

No quedan comprendidas en lo dispuesto en este Artículo, las obras públicas de drenaje pluvial en los centros de población, las cuales están a cargo y bajo la responsabilidad de las autoridades locales.

La Comisión promoverá y, en su caso, realizará los estudios necesarios que permitan clasificar las zonas inundables asociados a eventos con diferente probabilidad de ocurrencia, en atención a los riesgos que presentan a corto y largo plazos. Asimismo promoverá, dentro de la programación hidráulica, el establecimiento de las zonas restringidas y de normas para el uso de dichas zonas, que establezcan las características de las construcciones con objeto de evitar pérdidas y daños.

Protección Civil ayuda a la población a través del Subprograma de Prevención, en el cual se toman en cuenta las medidas destinadas a mitigar el impacto destructivo de las catástrofes o desastres de origen natural o humano sobre la población y sus bienes, los servicios públicos, la planta productiva; así como, el ambiente, y se aboca a una serie de operaciones y tareas directamente relacionadas a cada uno de los cinco grandes grupos de agentes perturbadores. En este caso las operaciones se describen en

el Plan de Emergencia Contra Agentes Destructivos de Carácter Hidrometeorológico.

## Responsabilidad técnica

Dentro del marco institucional, la Dirección General de la Comisión Nacional del Agua, tiene adscrita a su cargo la Gerencia de Protección a la Infraestructura y Atención de Emergencias (GPIAE), cuyas tareas fundamentales son: implantar sistemas y procedimientos para garantizar la seguridad física de la infraestructura hidráulica a cargo de la institución; así como, planear y coordinar la logística e implantación de operativos en las emergencias de origen hidrometeorológico, sanitarias y químicas relacionadas con el agua, alertar y auxiliar a la población afectada, en coordinación con el Sistema Nacional de Protección Civil.

Dentro de la implantación de sistemas y procedimientos para la atención de emergencias hidrometeorológicas, la GPIAE, tiene la tarea fundamental de elaborar los planes de emergencia por fenómenos hidrometeorológicos, donde se establecen una serie de parámetros para la atención de las emergencias; entre los cuales se tienen:

- Organización y logística necesaria para interactuar dentro del marco del Sistema Nacional de Protección Civil, con las Dependencias y Organismos involucrados en la atención de emergencias, definiendo quién hace qué, cómo y cuándo, con el propósito fundamental de evitar la pérdida de vidas humanas y mitigar los daños a centros de población y áreas productivas.
- Considera aspectos diversos, tales como: la coordinación de las acciones y de los participantes, la óptima utilización de los recursos disponibles y la canalización oportuna de ayuda al sector damnificado; así como, la ampliación y perfeccionamiento de los sistemas de prevención, aviso y auxilio a la población.
- Contiene además, información de municipios y poblaciones susceptibles de inundación, red de estaciones hidrométricas y climatológicas; así como, de obras hidráulicas de almacenamiento y derivación que opera la Comisión Nacional del Agua, escalas y gastos críticos, tránsito de avenidas, zonas de inundación, rutas de evacuación, albergues, medios de comunicación,

obras de protección y control, centros de acopio y directorio de funcionarios.

La GPIAE tiene identificadas 81 corrientes en el país que causan daños por desbordamientos. Ver [tabla 1](#).

Tabla 1 Relación de planes de emergencia formulados		
No	Estado	Río
1.	B.C.	Tijuana
2		Colorado
3	B.C.S.	Cajoncito
4	Sonora	Mayo
5		Yaqui
6	Sinaloa	Fuerte
7		Mocorito
8		Presidio
9		San Lorenzo
10		Sinaloa
11		Culiacán
12		Elota
13		Piactla
14		Baluarte
15		Durango
16	Nayarit	Acaponeta
17		San Pedro
18		Grande de Santiago
19		Ameca
20	Jalisco	Cuale
21		Lagos
22		Lerma (Yurécuaro) La Barca
23		Pitillal
24		Tomatlán
25		Zula
26	Guanajuato	Guanajuato-Silao
27		La Laja
28		Lerma (Puente Negro)
29		Temascalatío
30		Turbio
31	Aguascalientes	Aguascalientes
32	Colima	Armería
33		Cihuatlán
34		Coahuayana
35	Michoacán	Celio
36		Grande de Morelia

Tabla 1 Relación de planes de emergencia formulados		
No	Estado	Río
37	Zacatecas	Juchipila
38		Valparaíso
39		Tlaltenango
40	Nuevo León	Santa Catarina
41	Región Lagunera	Nazas
42		Aguanaval
43	San Luis Potosí	Santiago
44		Moctezuma
45		Tampaón
46	Querétaro	San Juan
47	Hidalgo	Huejutla
48	Veracruz Tamaulipas San Luis Potosí	Pánuco
49	Tamaulipas	Guayalejo
50	Veracruz	Tempoal
51		Tuxpan
52		Tecolutla
53		La Antigua
54		Nautla
55		Misantla
56		Actopan
57		Papaloapan
58		Jamapa Cotaxtla
59		Coatzacoalcos
60	Cazones	
61	Morelos	Yautepec
62	Puebla	Alseseca
63		Atoyac
64	Tlaxcala	Zahuapan
65	Guerrero	Huacapa
66		San Jerónimo
67	Oaxaca	Chiquito
68		Tehuantepec
69		Los Perros
70	Tabasco	Grijalva
71	Campeche	Palizada
72	Chiapas	Coatán
73		Huixtla
74	Campeche	Candelaria
75	Tamaulipas	Purificación
76	Chihuahua	Conchos
77	Morelos	Amacuzac

No	Estado	Río
78	Hidalgo	Tulancingo
79	México	Santiaguito
80	Michoacán	Duero
81	Guerrero	Papagayo

Los fenómenos meteorológicos extremos, principalmente las inundaciones y las sequías, han afectado constantemente al país en diferentes épocas en forma severa. Las pérdidas materiales, económicas y de vidas humanas son cuantiosas, y considerando el desarrollo poblacional y económico presentan una tendencia creciente a través de los años.

De estos fenómenos naturales, las inundaciones por sus características intrínsecas y efectos, son factibles en algunos casos de ser previstas; así como también, los daños que generan y tomar medidas para mitigarlos de manera importante.

Para ello se requiere, mejorar la capacidad de respuesta para la predicción y evaluación ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos, principalmente los huracanes que año con año azotan nuestras costas; que generan precipitaciones y escurrimientos puntuales extraordinarios; dichos eventos nos obligan a revisar y mejorar las obras de control y protección; para asegurar la funcionalidad de las obras hidráulicas construidas; ampliando y perfeccionando los sistemas de prevención, aviso y auxilio a la población.

Tales experiencias nos impulsan a programar una planeación estratégica que permita un mejor monitoreo y control de las avenidas para reducir los daños ocasionados por inundaciones, acorde con las responsabilidades compartidas para la atención de emergencias entre los niveles federal, estatal y municipal y en la atención de las necesidades de la población.

Considerando los ciclones tropicales que nos impactan y la magnitud de las inundaciones; así como, los daños que provocan, nos han demostrado que no dependen exclusivamente de la magnitud de las avenidas, ya que conforme se han incrementado las obras de control, mediante la construcción de presas y obras de protección, se han desarrollado demográficamente mejor las zonas protegidas, algo más preocupante es el crecimiento demográfico no planeado en

las principales ciudades del país, que han propiciado la invasión de cauces y zonas federales inundables, lo cual incrementa su vulnerabilidad.

El desarrollo económico alcanzado por el país y la necesidad de proporcionar seguridad y mejores condiciones de vida a la población, hace necesario atender el problema de las inundaciones con una visión global.

Un programa efectivo de control de avenidas y prevención de daños por inundaciones en una cuenca hidrológica debe ser integral, compuesto de acciones de infraestructura y acciones institucionales.

Un elemento esencial en la atención de la problemática de las inundaciones es la descentralización de las actividades, con normatividad que se fije centralmente, con una participación coordinada de las autoridades en sus tres niveles, con el apoyo de los habitantes de las comunidades involucradas, para propiciar una eficiente colaboración en labores de auxilio y rescate en casos de desastre.

En congruencia con los lineamientos que fija el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, Programa Nacional Hídrico 2007-2012, programas y estrategias de la Comisión Nacional del Agua, se reafirman los siguientes objetivos:

- Reducir la pérdida de vidas humanas y los daños causados por las inundaciones.
- Consolidar el desarrollo de áreas productivas sujetas a inundaciones frecuentes.
- Mejoramiento de los sistemas de detección, medición, análisis y pronóstico de los fenómenos hidrometeorológicos.
- Desarrollo de programas de diseño de infraestructura para el control de avenidas y la protección contra inundaciones, de acuerdo a una planeación integral del desarrollo y aprovechamiento de las cuencas.
- Reglamentación y vigilancia oportuna en la construcción de obras y de uso del suelo en zonas potencialmente inundables, que incluye los cauces y zonas federales.
- La correcta operación de la infraestructura hidráulica instalada para el control de avenidas, garantizando la seguridad de las estructuras.
- El desarrollo de programas de prevención de daños y de aviso y auxilio a la población en situaciones de emergencia.
- La participación coordinada de las autoridades en los tres niveles de gobierno y de los habitantes, tanto en

la ejecución y financiamiento de las acciones para el control de las avenidas, como la prevención de daños por inundaciones.

La Comisión Nacional de Agua, tiene sus expectativas de acuerdo a las actividades que desarrolla dentro del ámbito de su competencia, teniendo prioridad los programas trabajo dentro del sector las siguientes:

- Programa de Prevención y Atención de Emergencias
- Programa de Control de Inundaciones
- Programa de Seguridad de Presas
- Programa de Atención de Emergencias Hidroecológicas
- Acciones para Mitigación de las Sequías

En todos estos programas se ha buscado, que el sistema hidrológico del país sea menos vulnerable elaborando mejores programas de planeación y prevención hacia la población, teniendo como marco las siguientes expectativas:

- Privilegiar las acciones preventivas sobre las correctivas.
- Establecer políticas públicas encaminadas a la prevención de desastres como parte del desarrollo social.
- Censo de los análisis de riesgo para todas las comunidades, que están asentadas en las orillas de un cuerpo de agua, ya sea río, lago, laguna o estero.
- Que se apliquen las leyes y reglamentos, que existen en materia de agua, sobre los asentamientos humanos en zonas de alto riesgo.
- Actualización, implementación e implantación de planes de alerta y emergencia en todos los municipios afectados.
- Difundir la información sobre los planes, leyes y reglamentos en materia de agua a toda la población.
- Estudiar e implantar, nuevas tecnologías para mejorar los sistemas de prevención y alerta.
- Hacer partícipe a las autoridades municipales, estatales y federales de la importancia de asignar recursos a la construcción de las obras de protección, planes de prevención y alerta en las zonas de alto riesgo; así como, la reforestación de la cuenca, donde se necesite.
- Profesionalizar a los encargados de Protección Civil en su ámbito de desarrollo.
- Lograr la integración de los diferentes sectores, público, privado, social, industrial, académico y financiero, al fin común que es la Protección Civil.

En consecuencia se propone establecer la normatividad para la prevención y atención de las situaciones de emergencia, provocadas por fenómenos hidrometeorológicos severos, mediante la formulación y actualización de **planes de emergencia** de aquellas corrientes o regiones que recurrentemente generan estos efectos.

## Plan de emergencia de inundación

Un **plan de emergencia** integra el conocimiento de los fenómenos perturbadores y sus efectos en las áreas afectadas, a fin de determinar las actividades, procedimientos y acciones destinadas a la protección inmediata de la población y su entorno, deberá abarcar aspectos diversos, tales como la designación de autoridad, la coordinación de las acciones y de los participantes, la óptima utilización de los recursos disponibles y la canalización oportuna de la ayuda al sector damnificado.

El sistema expuesto por medio de un **plan de emergencia**, está programado para favorecer a las comunidades del territorio mexicano a mediano y largo plazo, en situaciones de emergencia motivadas por inundación.

El plan de emergencia por inundaciones se define como:

- Manual que contiene una serie de actividades e instrucciones a seguir por el personal técnico de las representaciones (Organismos de Cuenca y Direcciones Locales) de la Comisión Nacional del Agua, para la atención de situaciones de emergencia provocadas por inundaciones o tiempo severo.

El objetivo que se pretende es:

- Aprovechar al máximo los recursos humanos, materiales y financieros con que cuentan los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales de la Comisión Nacional del Agua, que permitan prevenir o reducir los daños que ocasionen las inundaciones.
- El funcionamiento oportuno y veraz de las acciones que se realicen en base al plan de emergencia por inundaciones (planes de emergencias por inundación de corrientes problemáticas), en cada región, dependerá de una dirección agresiva y bien coordinada.
- Para esto se deben enmarcar en los planes de emergencias por inundación de corrientes problemáticas las operaciones, las claves y los procedimientos es-



pecíficos que apoyen la prevención y el control de las inundaciones.

El procedimiento general es el siguiente:

1. En un plano hidrológico se identifican los puntos, tramos, entre otros; en la cuenca y el cauce en los cuales periódicamente persisten los problemas de inundación.
2. En base a los antecedentes se determinan los parámetros críticos que permitan conocer anticipadamente las avenidas que causarán daños. Estos parámetros podrán ser gastos, tirantes y/o tiempo de traslado de los escurrimientos.
3. Con esta información y toda la que sea posible recabar de la región, se elabora el anteproyecto de los planes de emergencias por inundación de corrientes problemáticas, además se calibran los parámetros y se realizan las inspecciones en campo.
4. Se realiza el proyecto definitivo de los planes de emergencias por inundación en corrientes problemáticas, y se presenta a las áreas encargadas de la Comisión Nacional del Agua, y en coordinación con las Unidades Estatales de Protección Civil, verificarán lo expuesto en el plan.
5. Se delimitan las áreas afectadas, y se dan responsabilidades a nivel local.
6. Se forma la organización que atenderá las emergencias y se prevén todas las medidas para la presente temporada de lluvias. Se responsabiliza a los miembros de sus funciones.
7. Ante los acontecimientos desarrollados por la temporada de lluvias, se verificarán los procedimientos y trabajos en emergencia, calibrando y retroalimentando las medidas empleadas.
8. Una vez terminada las emergencias se procede a una evaluación final de la situación, las operaciones y las zonas inundadas y los daños causados por la inundación y se da un informe final a las autoridades correspondientes.

Para la formulación de planes de emergencias por inundación de corrientes problemáticas, específico para cada región o cuenca se tiene una Guía general de elaboración, que enumera los puntos más sobresalientes de la forma siguiente:

1. Antecedentes de la problemática
2. Marco geográfico e hidrológico

3. Esquema hidrométrico
4. Parámetros de alerta
5. Tránsito de avenidas
6. Actividades de planeación
7. Recomendaciones básicas a la población
8. Organización para enfrentar la contingencia
9. Relación de localidades afectadas
10. Albergues
11. Directorio
12. Planos

### 1. Antecedentes de la problemática

En este capítulo se relatará en forma breve y sucinta, el origen y magnitud de la problemática, los acontecimientos históricos más relevantes, incluyendo en su caso: nombre de la corriente principal; así como, de sus afluentes, fechas de lluvias puntuales o ciclones, indicando su intensidad y categoría, sitios afectados, (municipio y localidad) y nombre de las estaciones hidrométricas y climatológicas (con sus respectivas escalas y gastos máximos registrados). Asimismo, se describirán los daños materiales a las obras de infraestructura hidráulica y centros de población. Ver [fotografías 1 y 2](#).



Foto 1. Magnitud y acopio de información histórica



Foto 2. Registro de eventos extraordinarios.

## 2. Marco geográfico e hidrológico

En este apartado se indicarán las características físicas del área o cuenca en estudio, incluyendo en su caso: colindancias, afluentes principales, climatología de la zona y orografía del lugar. Considerando las características físicas de la cuenca como: área o magnitud de la cuenca en proyección horizontal, su delimitación o parteaguas, su forma, coeficiente de compacidad, relación de elongación, elevación media, pendiente media del cauce principal, orden de corrientes y longitud y densidad de la red de drenaje; así como, el registro de estaciones hidrométricas y climatológicas en funcionamiento. También se considera el censo de las obras hidráulicas ubicadas dentro de la zona, relacionando sus principales características. Ver fotografías 3 y 4.



Foto 3. Características fisiográficas de la cuenca en estudio.



Foto 4. Características de la infraestructura de control a cargo de la CONAGUA.

## 3. Esquema hidrométrico

En este punto se generará un plano o croquis de la cuenca, representando en forma esquemática el cauce principal, sus afluentes tributarios y su desembocadura ver figura 3, características de la cuenca y subcuencas, ver figura 3.1, obras hidráulicas de la zona como, presa de almacenamiento, de derivación, lagos y lagunas, estaciones hidrométricas con datos de escurrimientos máximo, mínimo y crítico; como también las escalas de los gastos referido, y estaciones climatológicas en operación. Ver figura 1.

Figura 1. Esquema de estaciones climatológicas e hidrométricas



## 4. Parámetros de alerta

Los parámetros de alerta permiten determinar los niveles de prevención o peligro ante la presencia de algún fenómeno hidrometeorológico como la precipitación; los escurrimientos generan los gastos máximos anuales y extraordinarios, definiendo estos gastos en mínimo, medio, máximo y un máximo extraordinario en el cauce y se antepone los daños que puedan causar estos gastos, se puede definir que la magnitud de riesgo a que está expuesta la población aledaña al cauce y se puede clasificar de acuerdo al grado de la inundación como leve, moderada o severa.

En este punto, se apoyarán en métodos estadísticos de cálculo de avenidas máximas anuales, si en su caso lo amerita se utilizarán modelos de lluvia-escurrimiento para su análisis correspondiente.

Aquí se definirá la estación hidrométrica, que tendrá los gastos y escalas de prevención o críticos, que

permita dar avisos de emergencia a la población ubicada aguas abajo de la estación o estructura hidráulica.



Foto 5. Revisión de escalas de prevención.



Foto 6. Magnitud de los parámetros de prevención.



Foto 7. Magnitud de los parámetros de prevención.

Para cada uno de los niveles de prevención, contendrá las afectaciones a colonias o en su caso localidades de la zona y una acción operativa.

Para el cálculo estadístico de lluvia–escurrimiento o de gastos máximos, como mínimo se tomará un periodo de 15 años.

## 5. Tránsito de avenidas

El tránsito de avenidas es la metodología que permite integrar técnicas hidrológicas para analizar la evolución en tiempo, el traslado y el efecto de almacenamiento de una onda de agua de una avenida ya sea en un cauce natural o en un vaso de almacenamiento.

Con el auxilio de estas técnicas, se podrán determinar los tiempos de concentración, predecir con cierta confiabilidad, la presencia y magnitud de las avenidas para alertar y evacuar las zonas en riesgo de inundación.

Una vez elegido el tamaño de la avenida, se calculará el tiempo de traslado entre estaciones hidrométricas y/o localidades o en su caso hasta el sitio de afectación.

Estos tiempos de tránsito o traslado se cuantificarán de acuerdo a los datos existentes de la cuenca y los métodos que más se apeguen a ellos. Ver figura 2.

Figura 2. Traslado de avenidas



## 6. Actividades de planeación

Este capítulo contendrá las acciones que realiza la Comisión Nacional del Agua, en coordinación con las unidades de Protección Civil, antes, durante y después de la emergencia; tendientes a reducir el grado de riesgo y mitigar los daños a centros de población y áreas productivas; así como, el cronograma de actividades que se realizan en las diferentes etapas de la emergencia ya mencionadas. Ver figura 3.

En coordinación con el Sector Salud, realizarán acciones de saneamiento básico, cloración de tanques y depósitos de agua, caleo de patios, letrinas y excretas, a fin de evitar brotes de enfermedades gastrointestinales. Ver foto 8.



## 7. Recomendaciones básicas a la población

Este rubro contendrá las bases emitidas por el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), considerando las diferentes etapas de la emergencia: antes, durante y después, así como las recomendaciones a seguir durante la temporada de huracanes en las costas del país.

El documento incluirá las actividades a realizar antes del periodo de lluvias, las recomendaciones en caso de abandonar su vivienda, las que tiene que realizar durante el periodo de lluvias, las necesarias después de la emergencia, como las correspondientes a qué hacer en caso de huracán.



Foto 8. Conjuntamente con el sector Salud realizar saneamiento básico en las áreas afectadas.

## 8. Organización para enfrentar la contingencia

El contenido de este capítulo estará basado en los lineamientos establecidos por el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), quien es el encargado de coordinar a las Unidades Estatales y Municipales de Pro-

tección Civil, Dependencias y Organismos Federales que participan en la atención de la emergencia.

Figura 3. Organigrama de la CONAGUA en la atención de emergencias

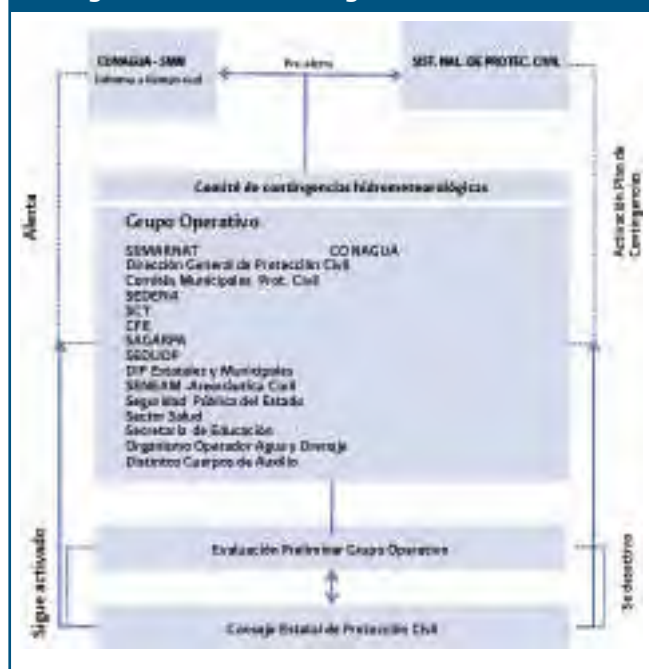


Tiene como propósito definir la ubicación del centro de operación regional o estatal y la organización de respuesta a nivel federal, estatal y municipal.

- Responsable de la ejecución y control de las operaciones y actividades.
- Responsable de recabar, clasificar y analizar la información hidrometeorológica.
- Responsable de supervisar y atender, los puntos críticos.
- Responsable de coordinar y controlar el uso y manejo de maquinaria, equipo y materiales.
- Responsable de suministrar y controlar las partidas presupuestales destinadas a los gastos que genera la situación emergente.
- Responsable de dar la voz de alerta, y seguimiento a la evolución del fenómeno.
- Responsable de la evaluación, referente a los daños y operaciones; así como, a la utilización de recursos humanos y económicos, utilizados durante la etapa crítica, además de la rehabilitación y reconstrucción. Contendrá información de las áreas inundadas.
- Y una breve descripción de las actividades que realiza cada una de las dependencias involucradas durante la emergencia.
- También se deberá indicar las acciones que se deben llevar a cabo después de la emergencia.
- Se deberá incluir el organigrama de protección civil, y el de la Comisión Nacional del Agua. Ver figura 4.

- **CGAECC.** Coordinación General de Atención de Emergencias y Consejos de Cuenca.
- **CGSMN.** Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.
- **GPIAE.** Gerencia de Protección a la Infraestructura y Atención de Emergencias.
- **SGA.** Subdirección General de Administración.

**Figura 4. Organigrama funcional atención de emergencia hidrometeorológica**



### 9. Relación de localidades afectadas

Considerando los antecedentes históricos de inundación, áreas y niveles de inundación, se tendrá el número de poblados se verán afectados por la incidencia de fenómenos meteorológicos, por lo que se tendrá la relación de los poblados o colonias afectados de la siguiente forma: nombre del municipio, del poblado, localidad o colonia, el número aproximado de habitantes afectados, así como una estimación de la superficie inundada, nombre de la corriente inundante y la margen del río en que está ubicada. También es importante tener a la mano el inventario de las localidades o colonias afectadas; ver [foto 9](#).

### 10. Refugios temporales

Independientemente de la magnitud con que pueda presentarse la emergencia, surge la necesidad de tener identificados aquellos sitios que servirán como refugios

temporales para la población afectada, por lo que debe tener una relación integrada de los lugares que previamente han sido seleccionados por las unidades estatales o municipales de Protección Civil, indicando el nombre del refugio temporal, ubicación, la capacidad de damnificados, servicio sanitario, capacidad de almacenar agua y cómo se suministra, además de las condiciones físicas de conservación del mismo, así como la ruta o rutas seguras para su acceso. Es importante ubicar siempre los refugios temporales, en caso de evacuaciones masivas; ver [fotos 10 y 11](#).



Foto 9. Localidad afectada



Foto 10. Refugio temporal



Foto 11. Albergue temporal

## 11. Directorio

Su contenido debe incluir la relación de domicilio y teléfono de funcionarios, dependencias y organismos que participan en la atención de la emergencia, del ámbito federal, estatal y municipal. Es importante tener siempre a la mano el directorio de funcionarios que intervienen en la atención de emergencias; ver [foto 12](#).



Foto 12. Funcionarios en atención de emergencias

En subíndices se relacionará:

- Ubicación de maquinaria y equipo de los distritos de riego y centros regionales de atención de emergencias, para ser usado en la atención de la emergencia. También se incluirá un listado de empresas que cuenten con maquinaria en la zona; ver [foto 13](#).
- Ubicación de maquinaria y equipo de emergencia en el sitio de la emergencia (zona afectada).
- Material y equipo para la atención de emergencias en los centros regionales de atención de emergencias a cargo de la CONAGUA.



Foto 13. Maquinaria y equipo para atención de emergencias

Bancos de material.

- Ubicación de servicios como: plantas embotelladoras, potabilizadoras con su capacidad operativa y tipo de almacenamiento, abastecimiento de combustible, hospitales y clínicas, y fuentes alternas de abastecimiento de agua.

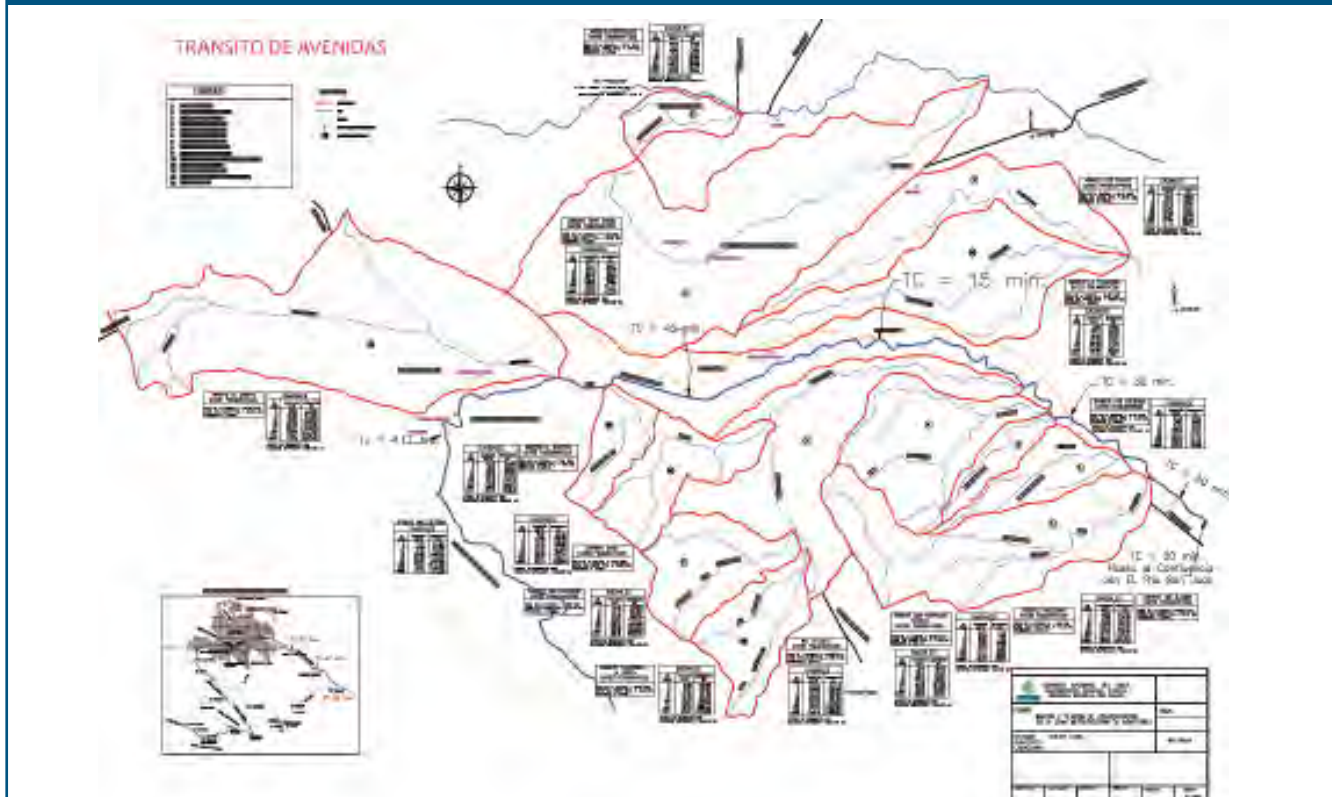
## 12. Planos

Como complemento del plan de emergencia, se tendrán los planos correspondientes:

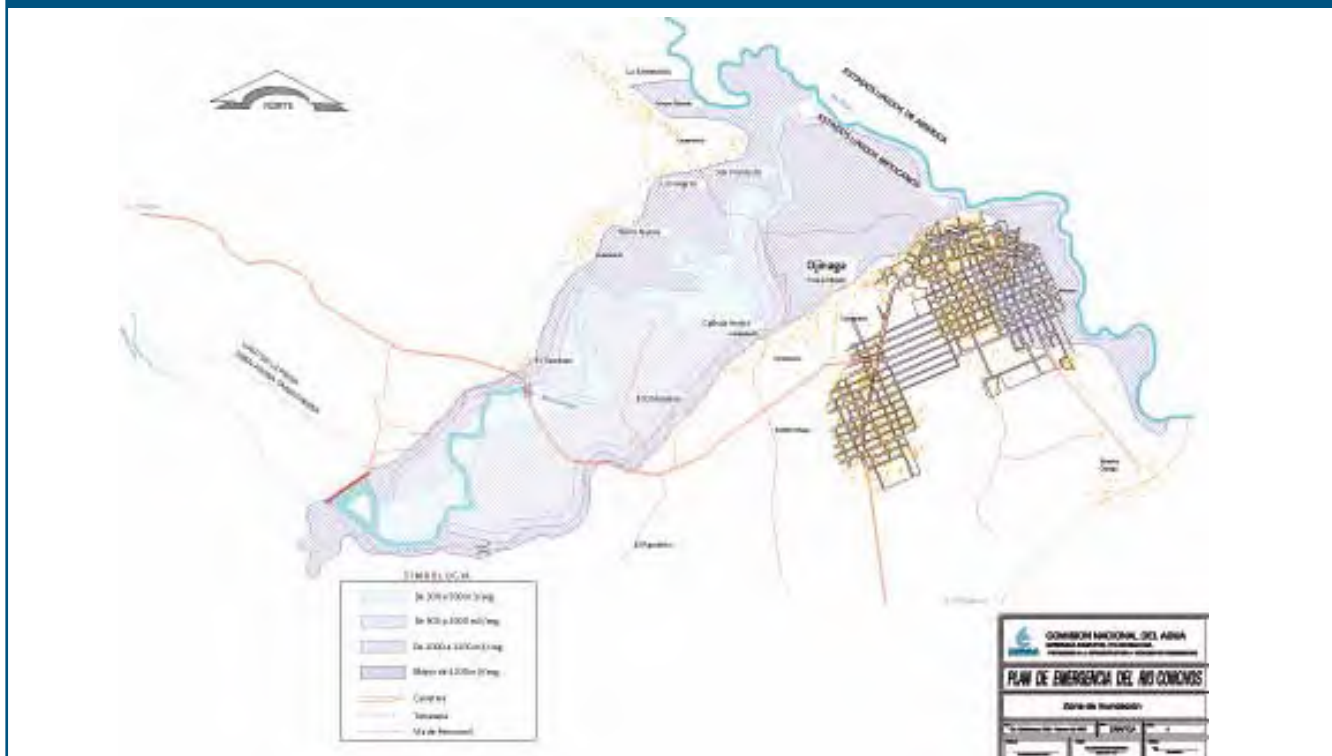
- Traslado de avenidas. Ver [plano 1](#).
- Zonas de inundación, indicando la zona afectada en tres niveles de inundación (leve, moderada y severa); ver [planos 2, 3 y 4](#).
- Localización de refugios temporales. Ver [plano 6](#).
- Localización de fuentes alternativa de agua.
- Vías de comunicación, rutas de evacuación. Ver [plano 7](#).
- Bancos de material.
- Maquinaria y equipo para la emergencia.
- De servicios como: potabilizadoras, embotelladoras, de combustibles, clínicas y hospitales.



## Plano 1. Tránsito de avenidas



## Plano 2. Áreas de inundación











## 4.6 Programas de reubicación

La reubicación es una medida estructural que obedece a mitigar la vulnerabilidad en determinada zona de riesgo reconocida.

Preferentemente será ejecutada durante los tiempos de reconstrucción o preparación en el ciclo de administración de desastres naturales; ver [diagrama 1](#).



Consiste en desplazar a la población de terrenos expuestos a un riesgo a una zona no susceptible a las inundaciones.

Para este caso la decisión estriba en que todas las salidas técnicas o estructurales y no estructurales, tienen un costo excesivo o muy por encima de los costos asociados a los bienes protegidos, o bien cuando el riesgo a pérdidas de vidas humanas es muy alto y no se puede desarrollar infraestructura de protección contra inundaciones se optará preferentemente por la reubicación, la cual en sí, puede resultar también una solución onerosa.

La reubicación en las zonas urbanas se dará de preferencia cerca de la población, con el objeto de economizar en la dotación de servicios y equipamiento urbano.

La primera pregunta que hay que responder en este procedimiento será:

### ¿Dónde no?

La respuesta implica como una primera noción de orden determinar donde no hay que fomentar nuevos desarrollos, este conjunto de terrenos es igual a las zonas de riesgo a inundaciones, aludes y erosiones.

### Procedimiento general para establecer una reubicación

#### Cuando no hay tiempo disponible para realizar análisis intensivos o detallados (decisiones de menos de un mes de plazo para ser tomadas)

Se recomienda adquirir imágenes de satélite del sitio en los días posteriores al evento origen del desastre, y con ayuda de algún modelo digital de elevación 1:50,000, disponibles para toda la república, tomar algún criterio morfológico de la mecánica de las inundaciones, erosiones y depósitos en planicies así como los abanicos aluviales, se trata de una evaluación geomorfológica del sitio, asistida por geólogos del consultivo técnico para elegir prontamente sitios donde históricamente no existen evidencias de actividad hidrológica, fluvial intensa o reciente; ver [figura 1](#).

Publicar los planos aludiendo al Artículo 39 de la Ley General de Protección Civil, de preferencia con las autoridades que convengan en atribuciones en control del territorio y determinación del riesgo.

#### Cuando hay poco tiempo disponible (3 a 6 meses)

Levantar el polígono de inundación histórica o las plumas de sedimentos activas parte de los abanicos aluviales en cuencas cortas de cambio brusco de pendiente.

Asumir el evento histórico como el mínimo necesario para establecer las zonas de riesgo a inundación, o abanico aluvial, levantado el polígono con GPS.

Publicar los planos aludiendo al Artículo 39 de la Ley General de Protección Civil, de preferencia con las autoridades que convengan en atribuciones en control del territorio y determinación del riesgo.

#### Cuando se visualiza un año de análisis y existen recursos para hacer los estudios.

Los pasos abajo expuestos no necesariamente son consecutivos en ocasiones son simultáneos y en el más urgente



de los escenarios, la ejecución de los estudios técnicos solo servirán para corroborar alguna elección práctica en la reubicación.

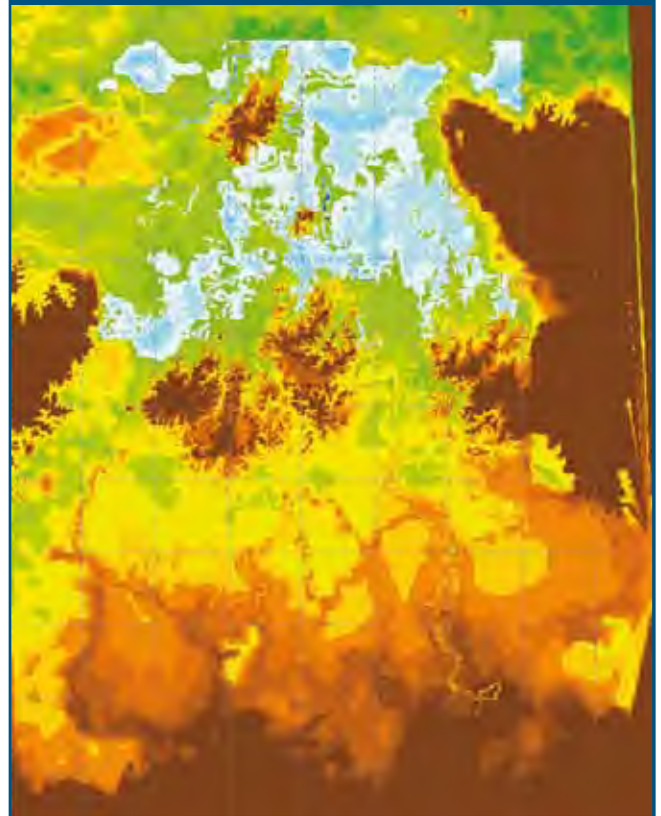
**Figura 1. Imagen satelital del 8 de noviembre 2007 posterior a la inundación de Villahermosa**



### 1. Identificar el peligro

- Levantamiento de las manchas de inundación históricas o las plumas de sedimentos activas parte de los abanicos aluviales en cuencas cortas de cambio brusco de pendiente.
- Levantar la topografía de cauces y zonas de inundación.
- Calibrar modelos numéricos.
- Construir modelos reducidos, en su caso, si hay tiempo disponible para tomar las decisiones (más de 8 meses).
- Modelación de varios escenarios variando la magnitud de las inundaciones; ver [figura 2](#).
- De preferencia asumir el período de retorno de 100 años para identificar las zonas de alto riesgo.
- Publicar los planos aludiendo al Artículo 39 de la Ley General de Protección Civil, de preferencia con las autoridades que converjan en atribuciones en control del territorio y determinación del riesgo.

**Figura 2. Modelo de flujo bidimensional para los ríos de la sierra aguas arriba de Villahermosa calibrado a condiciones de 2007**



### Censo

Aquí empieza una de las labores mas difíciles de la tarea de la reubicación, que es el levantamiento del censo de las personas afectadas por el evento o aquellas que están en riesgo a un evento calculado.

Esta tarea es realizada por lo regular por instancias de los gobiernos de los estados o por la SEDESOL federal, en esta etapa es primordial que la CONAGUA proporcione los polígonos de inundación para que se coteje vivienda por vivienda o predio por predio la condición de afectación. Es muy probable que con la información recabada sólo ratifique la decisión de rehabilitar, pero sólo la visión integral del censo y la zona de riesgo darán los elementos para sustentar una reubicación.

El universo a reubicar obedece a los siguientes criterios: **29.** Las viviendas afectadas perdieron posibilidad de rehabilitación, están destruidas o inhabitables.

- 30. Resultaron ubicadas en un lugar donde el binomio tirante velocidad es mayor a  $2 \text{ m}^2/\text{s}$  para la probabilidad de ocurrencia adoptada.
- 31. En el análisis costo beneficio es más factible reubicar que desarrollar infraestructura de protección contra inundaciones.
- 32. En más de dos ocasiones han sido siniestradas las viviendas a pesar de la infraestructura (lo cual quiere decir que la infraestructura fue construida erróneamente o con poca información hidrológica). Ver figura 3.

### Elección del sitio de reubicación

Esta tarea multidisciplinaria comienza por el análisis de los probables sitios por parte de Protección Civil de los estados y la misma CONAGUA para evaluar si los sitios de reubicación no están sujetos a riesgos también. Esta

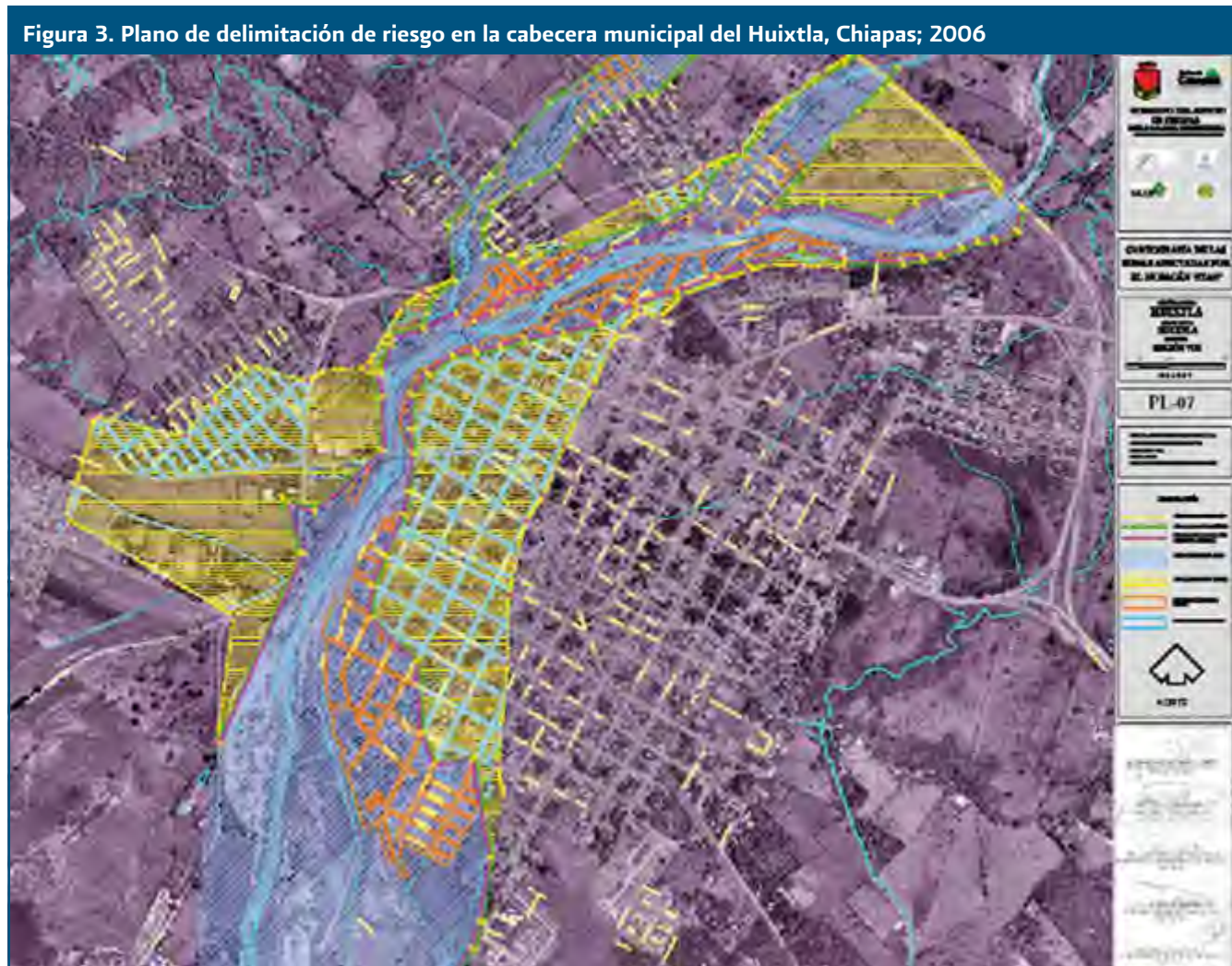
tarea se debería realizar en todos aquellos terrenos propiedad de los gobiernos municipales o estatales aún no construidos.

Pero también es necesario establecer una estrategia de crecimiento urbano a seguir opciones:

1. Crecimiento expansivo.
2. Re-densificación.
3. Urbanismo y arquitectura que se adapta al medio (palaftos en zonas inundables con sus correspondientes accesos).

Cada una de estas opciones implica una disposición de terreno distinto, incluso del reacomodo de un espacio urbano ya afectado y ocupado, más que extenderse a nuevas áreas seguras.

Este procedimiento consiste en la evaluación de los siguientes aspectos:



### Medio físico natural

- Topografía.
- Edafología.
- Vegetación.
- Mantos acuíferos.
- Clima (vientos dominantes).

### Infraestructura

- Agua potable y alcantarillado.
- Energía eléctrica.
- Uso de suelo en la cercanía.
- Industria o carretera.
- Líneas de alta tensión.

### Aspectos urbanos

- Crecimiento histórico.
- Comportamiento de la ciudad, zonas de crecimiento.
- Riesgos y vulnerabilidad.
- Densidades (hab/ha o vivienda por hectárea).
- Ocupación del suelo (coeficiente de ocupación del suelo) en las zonas de reubicación.
- Equipamiento (edificios de servicios, hospitales, templos, centros culturales, parques).

### Aspectos socioeconómicos y demográficos

- Tendencias de crecimiento, reducción y/o migración histórica.

Sin embargo el aspecto social y económico son determinantes en la toma de decisiones efectivas a favor de una reubicación factible. Lo recomendable es que a los esquemas de reconstrucción y recuperación se asigne un porcentaje alrededor del 5% de los recursos destinados a desarrollo de infraestructura a la gestión social y compra de los terrenos que técnicamente resultaron en riesgo o necesarios para desalojar en función del riesgo, y que equiparablemente en el sector vivienda se asigne un porcentaje igual para la compra de terrenos con las mejores características para ser sujetos a desarrollo urbano o habitacional.

### Referencias bibliográficas

- *Resumen Ejecutivo del IV Foro Mundial del Agua Thematic Document Framework Theme 5. Risk Ma-*

*nagement.* 4<sup>th</sup> World Water Forum, Mexico City. March 2006.

- PNUD. *Guía Para la Elaboración del Plan Operativo de Protección Civil Para La Temporada de Lluvias y Ciclones Tropicales*, 2008.
- PNUD ONU. *Plan de Recuperación*, 2008.



## 4.7 Programa de drenaje pluvial

Un sistema de drenaje urbano debe estar dirigido al logro de dos objetivos: el primero, disminuir al máximo los daños que las aguas de lluvia ocasionen a la ciudadanía y las edificaciones en el entorno urbano; el segundo, garantizar el normal desarrollo de la vida diaria en las ciudades, permitiendo un apropiado tráfico de personas y vehículos durante la ocurrencia de las lluvias

### Priorización, selección y análisis de poblaciones en riesgo

El constante crecimiento urbano obliga a un detallado análisis en cuanto a la construcción del drenaje, ya que exige un ejercicio exhaustivo de planificación urbana pues además de preservar la integridad física de las vías, debe garantizar el libre desenvolvimiento de la ciudadanía en épocas de grandes lluvias.

Es importante que en la selección del gasto a considerar en el proyecto se tome un límite aceptable del tiempo de inundación admitido y un mayor o menor grado de riesgo.

El grado de protección del drenaje urbano está relacionado con el riesgo de que las obras sean destruidas en periodos de tiempo determinados. Es lógico pensar que brindar una protección total, es decir no aceptar ningún riesgo implica construir drenajes de magnitudes desproporcionadas, tanto físicas como económicas, lo que obliga a seleccionar grados de protección menores. El grado de protección adecuado depende de dos hechos fundamentales:

1. La importancia social y económica de la obra que ha de protegerse, pues de esto depende que se puedan producir mayores o menores daños.
2. La función que desempeña la obra. La planificación de un sistema de drenaje urbano debe estar basada aspectos tales como:
  - Planificación urbana.
  - Servicios públicos.
  - Planificación del sistema vial.
  - Mejoramiento del ambiente.

Las obras de drenaje urbano dentro de un sistema deben ser concebidas a tres grandes niveles de organización:

- Estudios preliminares.
- Proyectos.
- Construcción.

### Información básica

En la elaboración de cualquier proyecto, es necesario tener especial cuidado en la definición de los datos básicos. Estimaciones exageradas provocan la construcción de sistemas sobredimensionados, mientras que estimaciones escasas dan como resultado sistemas deficientes o saturados en un corto tiempo.

El responsable de asegurar la recopilación de información confiable, debe realizar análisis y conclusiones con criterio y experiencia, y de aplicar los lineamientos que a continuación se presentan, con objeto de obtener datos básicos razonables para la elaboración de proyectos ejecutivos.

Una vez recopilada toda la información disponible de los sistemas de agua potable y alcantarillado en funcionamiento, se hará un diagnóstico de los sistemas, señalando sus características más importantes, sus deficiencias y los requerimientos de rehabilitación, sustitución o expansión. Con lo anterior se deben plantear alternativas de desarrollo para las posibles áreas de crecimiento inmediato, y programar a futuro aquellas zonas consideradas en los planes de desarrollo urbano.

Lo anterior representa la información de inicio para obtener los datos básicos que son necesarios en la elaboración de estudios y proyectos.

### Diagnóstico

Tomando en cuenta las diferentes zonas habitacionales a partir de la población actual, se realiza la proyección de la población al término del periodo de diseño en que se ejecutan los estudios y proyectos.

De acuerdo con las características socioeconómicas de la población y tomando en cuenta los planes de desarrollo urbano, se definirán las zonas habitacionales actuales y futuras para cada grupo demográfico, basándose en el crecimiento histórico.

Se establecerá, junto con las autoridades los planes de desarrollo urbano comparándolos con el crecimiento observado en la ciudad.

## Impacto del desarrollo urbano en el drenaje pluvial

Los sistemas actuales de drenaje pluvial fueron construidos considerando cierta población y cierto ordenamiento de la población. En la práctica esto es superado, dado que existe un crecimiento de la mancha urbana descontrolado que ha invadido zonas que con anterioridad estaban contempladas para otros usos de suelo. Esto motiva un incremento en los escurrimientos debido al crecimiento de la mancha urbana para un mismo valor de lluvia se presenta un escurrimiento muy superior.

Se debe evaluar la conveniencia de construir obras de drenaje pluvial tal que permitan conducir los escurrimientos adicionales o excedentes, o bien, establecer medidas que aminoren los mismos

## Planteamiento de alternativas de solución

El proceso de selección de la mejor solución de drenaje requiere del concurso de especialidades profesionales entre ellas: la ingeniería hidráulica, la civil, los geógrafos, los urbanistas, los ecólogos, entre otros.

Las numerosas especialidades profesionales que se requieren durante esta etapa de corrección, ajuste y complementación de proyectos hacen que la buena dirección y supervisión de obras importantes necesiten de la asesoría de profesionales capacitados en múltiples aspectos.

En el caso de proyectos, se proponen dos enfoques diferentes de los estudios:

1. Sistema primario de drenaje a nivel de proyectos, dejando que las obras típicas sean resueltas detalladamente durante la construcción.
2. Grado de detalle que permita llevarlo a cabo ajustado a planos específicos bajo la necesaria supervisión profesional durante la construcción.

La información necesaria para los estudios preliminares depende de la complejidad y extensión de los mismos, la mayoría de los casos son también requeridos generalmente por otras disciplinas que intervienen en los estudios, como son:

- Topografía.
- Hidrología.
- Drenajes existentes.
- Zonas susceptibles de inundaciones.
- Geotécnica.

Una vez escogida la solución óptima del drenaje urbano, se procede a plantear varias alternativas con el objeto de definir una de ellas para proceder a nivel del anteproyecto.

Los estudios preliminares pueden orientar una mejor selección altimétrica y planimétrica del trazo antes de llegar a nivel del anteproyecto propiamente dicho. Los límites de las inundaciones son los niveles máximos de agua aceptables en los diferentes sitios de la ciudad cuyas magnitudes dependen de la función que cumpla el sistema de drenaje.

## Modelación, evaluación y selección de la alternativa de solución

Cada alternativa de solución deberá ser modelada de acuerdo al tipo de obra de que se trate, dichos modelos pueden ser: funcionamiento hidráulico (tránsito por vaso) y determinación de niveles de la superficie libre que se alcanzan tanto en flujo permanente como no permanente.

Una vez establecido el modelo que se utilizará, deberán evaluarse los resultados tanto desde el punto de vista técnico como económico y basándose en ellos se habrá de seleccionar la alternativa mas adecuada.

## Operación y mantenimiento

La operación se refiere principalmente a establecer las políticas de funcionamiento de las obras propuestas, tales como política de descargas en los vasos de almacenamientos, o gastos de bombeo- elevaciones en un cárcamo de bombeo. Es finalmente establecer en forma clara el funcionamiento previsto en las obras propuestas. Para el lector que esté interesado en profundizar en este tema se recomienda recurrir al Manual de Drenaje Pluvial del MAPAS.



## 4.8 Aseguramiento de la infraestructura

### Aspectos generales

Respecto de la identificación de las zonas de riesgo, pese a los esfuerzos considerables de tener un registro completo de los mismos, para poder integrarlo se presentan dificultades, derivadas de un inadecuado acervo documental y de registro aunado a la falta de presupuesto y a la carencia de personal que se destine específicamente a tal labor.

En el caso de las medidas a tomar en caso de prevención de riesgos por inundaciones, es importante destacar que si bien la legislación señala la posibilidad de implementar medidas tendientes a proteger a la población y a desalojar los inmuebles en riesgo, existen lagunas legales, derivadas de la falta de especificación, de las facultades de cada autoridad, lo que en la práctica se traduce en falta de respuesta rápida ante las situaciones de contingencia. De tal forma, que se hace necesario reglamentar de manera específica, el actuar de las autoridades y los procedimientos a seguir para los casos de prevención de riesgos, (desalojar a la gente incluso por la fuerza pública), el alertamiento, entre otros.

Sólo dos de las leyes estatales de protección civil hablan de permitir el uso de la fuerza pública para evacuar zonas afectadas por algún fenómeno. Sin embargo, hay que hacer una aclaración importante: en caso de una emergencia, se convoca al consejo estatal o municipal de Protección Civil el cual está presidido por una cabeza que corresponde el gobernador del estado o el presidente municipal, según el caso. El presidente es el que debe dar la indicación al área correspondiente, por ejemplo: si se decide que durante una emergencia hay que realizar una evacuación forzosa donde debe intervenir la fuerza pública, el presidente del consejo debe dar indicaciones o solicitar al ejército o a los cuerpos de seguridad que intervengan en dicho desalojo en caso de que alguien se niegue a hacerlo y ningún otro miembro de Protección Civil deberá hacer valer la fuerza.

En relación con lo anterior, si bien existen planes de atención de emergencias, derivados de los planes

de protección civil estatales o de otras dependencias, se hace necesaria su revisión y actualización, tomando como base las experiencias que han dejado los recientes desastres hidrometeorológicos.

Para llevar a cabo todas las acciones es necesario disponer de recursos humanos y financieros. No hay que olvidar que las leyes de Protección Civil de todos los estados especifican que habrá recursos del gobierno del estado para el funcionamiento y que en las mismas, también se especifica que tienen facultades para la ejecución de estudios, proyectos y hasta investigación científica, de manera que se puede plantear al seno del consejo estatal o municipal que parte de ese presupuesto sea para alguna actividad específica o que se pida presupuesto para el siguiente ejercicio.

Hay que destacar que independientemente de la propiedad que sobre un bien (cauce, vaso, entre otros) tiene el estado, aún en el caso de duda, se puede actuar derivado precisamente de cuestiones de uso de suelo y de Protección Civil. Sin embargo, al respecto hay que hacer dos aclaraciones:

- a) Es una buena oportunidad para ampliar la superficie de zona federal delimitada a favor del municipio donde se encuentra el cauce; y
- b) en caso de zonas diferentes a las federales, habrá que hacer la propuesta de modificación de las leyes de asentamientos humanos, de catastro, de construcción, entre otros.

### Contexto del programa

#### Urbano

- Riesgo a inundaciones = intersección desarrollo urbano y rural con zonas inundables.

#### Económico social

- Terrenos bajos e inundables (menor plusvalía) susceptibles a ocupación principalmente por sectores más pobres de la población.
- Percepciones equivocadas:
  - Un territorio que no está inundado permanentemente puede ser usado.
  - Las inundaciones ocurren en temporada de lluvias y no utilizar los terrenos en el estiaje es un desperdicio.
- Pobre cultura del aseguramiento en la sociedad.

### Ambiental

- Deforestación de cuencas.
- Invasión de lagunas de regulación y obstrucción o desvío de cauces. Hace falta la intervención de la CONAGUA.
- Cambio en el régimen de escurrimiento.
- Cambio climático.

### Técnico

- Se ha perdido capacidad para la evaluación y determinación de riesgos fluviales, aludes, o flujos con una alta concentración de lodos (potamología).
- Es necesario reglamentar las evaluaciones *expost* para actualizar las zonas inundadas durante el evento recientemente pasado, principalmente dentro de las zonas urbanas y para actualizar límites de inundación en las zonas rurales.

### Legal

El ordenamiento territorial y la administración de riesgos por inundaciones se incluyen en varias leyes, por lo cual tienen competencia varias dependencias y entidades en los tres órdenes de gobierno, lo que hace difícil su aplicación coordinada. El municipio, con asesoría del gobierno del estado y la CONAGUA debe encabezar el esfuerzo del ordenamiento, en especial para reducir el riesgo de inundaciones.

### Político

No existe en México una política pública que integre el manejo de riesgos por inundaciones.

Las inundaciones extraordinarias tienen una frecuencia de ocurrencia en muchos casos mayor a la permanencia de las autoridades municipales o estatales, por lo tanto no visualizan un riesgo dentro del plazo de su gestión y toman decisiones sin evaluar los efectos en el mediano y largo plazo. En estos casos, es conveniente que la autoridad a nivel federal que tiene una visión a más largo plazo, proponga declarar esas zonas como lagunarias y darles ese tratamiento, para evitar futuros daños.

Aseguramiento de infraestructura urbana municipal. Sólo una ley estatal de protección civil habla del aseguramiento de infraestructura contra daños producidos por algún fenómeno. Sin embargo, eso no quiere decir

que no se pueda hacer. Es conveniente la actualización de las leyes mencionadas.

## 4.9 Programa de convivencia con las inundaciones

### Vivienda

Las inundaciones son eventos que se presentan por desbordamiento en los tramos bajos de las corrientes naturales donde la pendiente del cauce es pequeña y la capacidad de transporte de sedimentos es reducida.

La definición de las zonas inundables está relacionada con el concepto de “zona federal” y la engloba. Esta es una franja en la cual quedan incluidos el cauce mayor y una zona para dar mantenimiento del mismo que en ocasiones se ha confundido como “de seguridad” ya que es el territorio donde ocurren las crecientes ordinarias con un cierto periodo de retorno (10 años). Así, fuera de la “zona federal” quedan las planicies que son potencialmente inundables durante las crecientes extraordinarias.

En la mayoría de los casos las inundaciones son producidas por crecientes extraordinarias originadas por la temporada de huracanes que generan lluvias que no pueden evitarse, en cuyo caso lo recomendable internacionalmente es mitigar o reducir los efectos mediante diversos métodos, técnicas y estrategias para el control de inundaciones.

### Inundaciones

Se conocen como zonas inundables las que son anegadas durante eventos extraordinarios, por ejemplo: aguaceros intensos, crecientes poco frecuentes, o avalanchas.

Las zonas inundables se clasifican de acuerdo con las causas que generan las inundaciones. Estas causas son las siguientes:

1. Encharcamiento por lluvias intensas sobre áreas planas.
2. Encharcamiento por deficiencias de drenaje superficial.
3. Desbordamiento de corrientes naturales.
4. Desbordamiento de ciénagas.
5. Avalanchas producidas por erupción volcánica, sismos, deslizamientos y formación de presas naturales.

6. Obstáculos al flujo por la construcción de obras civiles: puentes, espigones y obras de encauzamiento, viviendas en los cauces y represamientos para explotación de material aluvial.
7. Sedimentación.

Estas causas pueden presentarse en forma individual o colectiva.

Las inundaciones aquí consideradas son eventos que se presentan en zonas aledañas a los cauces de las corrientes naturales por causa de desbordamiento de las mismas, o en su caso en las zonas costeras. Las áreas que están sujetas a las inundaciones se denominan llanuras de inundación.

Las magnitudes y los efectos de las inundaciones dependen de las características de las crecientes que son generadas por lluvias intensas, y de otros eventos relacionados con ellas, como son: los deslizamientos de taludes, la formación y el rompimiento de represas naturales, y las obstrucciones al flujo por destrucción de obras civiles.

En lechos aluviales el transporte de sedimentos juega un papel importante en las variaciones que sufre el canal principal a lo largo del tiempo y en su capacidad para transportar las crecientes. Los procesos de depósito y de socavación se activan de acuerdo con las magnitudes de las velocidades del agua; así, durante los estiajes y los períodos de aguas medias predominan los fenómenos de depósito porque las velocidades son relativamente bajas y la capacidad de transporte de sedimentos es reducida. Cuando llegan las crecientes se aumentan las velocidades de flujo y por tanto se incrementan los procesos erosivos y los ataques contra las márgenes.

Las imágenes a continuación muestran como las poblaciones se asientan en las llanuras de inundación; ver [figura 1](#) y [fotografías 1, 2 y 3](#).

Los problemas de inundaciones son particulares y pueden ocurrir tanto en cauces de montaña como en cauces de llanura, aun cuando son más frecuentes en estos últimos; y en las zonas costeras.

Algunos de los problemas que se presentan con las inundaciones son los siguientes:

- Anegamiento de las llanuras de inundación y daños en viviendas, vías de comunicación, y producción agropecuaria, con pérdida de vidas humanas en algunos casos.

## Figura 1. Este diagrama representa las llanuras de inundación ocurridas en los ríos

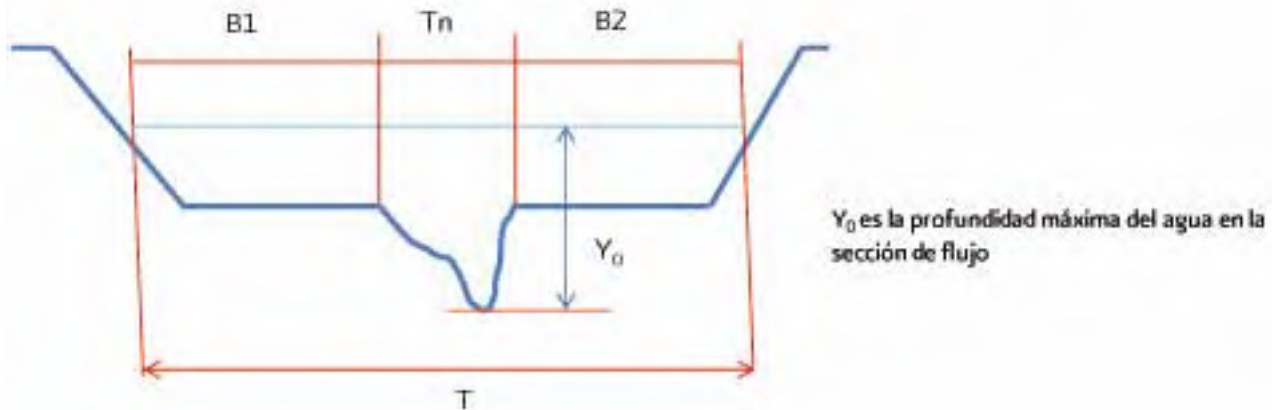
En la sección típica simplificada se observan en el canal principal y las llanuras de inundación.

Cuando se presenta la inundación, por desbordamiento del canal principal, el espejo del agua queda conformado por la boca del canal principal y por dos franjas inundables. Este ancho total se denomina Zona Inundable y es igual a  $T$ , donde:

$$T = T_n + B1 + B2$$

La boca del canal principal tiene un ancho  $T_n$ ; las franjas inundables o llanuras de inundación,  $B1$  y  $B2$ , están limitadas por condiciones topográficas o por diques de encauzamiento.

El nivel del agua en la sección depende del caudal, de las condiciones hidráulicas del canal y del ancho de la zona inundable.



Fotos 1, 2 y 3 . Población asentada en la llanura de inundación del río.

- Drenaje lento de las áreas inundadas las cuales se convierten en depósito de aguas prácticamente estancadas. Esta situación genera problemas sanitarios sobre la población.



- Ataques del flujo sobre las márgenes del cauce principal lo cual produce cambios de curso permanentes y pérdida de áreas productivas.

### Como enfrentar las inundaciones

Las acciones llevadas a cabo durante una administración municipal, estatal o federal, contra las inundaciones, usualmente son ignoradas por los gobernantes en turno.

La ocupación ilegal de la Zona Federal es constante. Por lo que en época de lluvias, se inundan las colonias construidas en terrenos bajos, llevándose a cabo acciones desesperadas para mitigar sus efectos.

Las presiones hacia los funcionarios se incrementan para que se construyan defensas provisionales; pero lo peor es que pasada la emergencia nadie las cuida y se destruyen; por lo que en la siguiente inundación, hay que volver a empezar.

La participación ciudadana es poco activa, hay desapego e indiferencia generando una actitud y obstinación ya que los funcionarios repiten todos los años acciones no sustentables; y los afectados por la inundación, insisten en quedarse en la misma zona, sin acondicionar o modificar sus viviendas.

Por otro lado, no existen programas de reubicación o reacondicionamiento de las casas de las familias inundadas (como las viviendas lacustres), no obstante, aumentan las poblaciones ribereñas clandestinas, nadie puede ignorar en donde se están asentando, ocupando espacios en las márgenes naturales de expansión de ríos y lagunas; ver fotos 4, 5, 6 y 7.



Foto 4. Se observa como se ocupan y el tipo de construcción de las viviendas en las llanuras de inundación.

Fotos 5, 6 y 7. Se habilitan oficialmente colonias que después terminan rodeados de un terraplén de tres o cuatro metros de altura.

### Industria de la inundación

- Pobladores ocupan terrenos federales o particulares.
- Se instalan en lugares bajos.



- Reciben una vez al año “trato preferencial”.
- Grandes beneficios económicos para algunas empresas constructoras: “negocio de la construcción y de las consultoras”.
- Invasión por parte de la gente a las áreas de inundación de los ríos.
- Construcciones en zonas bajas:
  - Autorizadas por los municipios.
  - Excepciones a la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento.
  - Excepciones al reglamento de Construcción de Obras Particulares.

Otro problema radica en las obras de protección, (los bordos), los cuales ofrecen falsa seguridad, existiendo peligro de inundaciones masivas si éstos colapsan.

Comúnmente los mantos freáticos se elevan ante la crecida del sistema fluvial-lacustre. Activándose ríos subterráneos, lagunas y arroyos que han sido rellenados por el hombre, ocasionando hundimiento del suelo y deterioro de los edificios, lo que acarrea una disminución de la calidad de vida de la población.

## Mitigación de los efectos de las inundaciones

### Tres causas del problema:

1. Falta infraestructura.
2. Debilidad de organismos estatales para ejercer poder de policía.
3. Indiferencia de la población.

Prácticamente no existen los casos en los cuales es posible solucionar los problemas de inundaciones de forma permanente. Algunas de las razones más importantes que no permiten la solución son el costo de las obras, los conflictos socioeconómicos de las regiones que conllevan intereses en el uso de la tierra, y la escasa factibilidad económica de este tipo de proyectos. Por esta razón se utilizan los términos “control de inundaciones” o “mitigación de los efectos de las inundaciones” para indicar que estos proyectos tratan de prevenir daños mayores y ofrecen protección hasta un cierto nivel de riesgo.

El costo de las obras está en función de la frecuencia del evento de inundación. En la protección de campos agrícolas, por ejemplo: la frecuencia de diseño contra

inundaciones puede estar entre 5 a 25 años porque eventos mayores pueden requerir de obras que valen más que los cultivos que se van a proteger. En otros casos, en los cuales las inundaciones pueden ocasionar pérdidas de vidas humanas puede ser preferible instalar sistemas de alerta o reubicar la población que se encuentra en peligro, antes que proyectar obras para frecuencias de ocurrencia de 10,000 años.

Dependiendo de las características particulares de los casos que requieren de estudios de control de inundaciones, el diseño de las obras apropiadas para cada caso debe hacerse después de que se conozcan los resultados de los estudios hidráulicos y geomorfológicos del tramo que recibe la influencia de la construcción de dichas obras. Los resultados de los estudios hidráulicos y geomorfológicos presentan pronósticos sobre la evolución futura de la corriente y estimativos sobre magnitudes de los caudales medios, mínimos y de creciente, niveles mínimos, máximos y medios, posibles zonas de inundación, velocidades de flujo, capacidad de transporte de sedimentos, socavación y azolvamiento.

Las obras más comunes en corrientes naturales son las siguientes:

- Obras transversales para control torrencial. Operan como pequeñas presas vertedero (presas sabo).
- Espigones para desviación de líneas de flujo.
- Espigones para favorecer los procesos de sedimentación. Son efectivos cuando se colocan en un sector de alto volumen de transporte de sedimentos en suspensión.
- Obras marginales de encauzamiento. Son obras que se construyen para encauzar una corriente natural hacia una estructura de paso, por ejemplo: un puente, *box-culvert*, alcantarilla, entre otros.
- Obras longitudinales de protección de márgenes contra la socavación. Son muros o revestimientos, suficientemente resistentes a las fuerzas desarrolladas por el agua.
- Acorazamiento del fondo. Consiste en refuerzar el lecho con material de tamaño adecuado, debidamente asegurado, que no pueda ser transportado como carga de fondo.
- Protección contra las inundaciones. Son obras que controlan el nivel máximo esperado dentro de la llanura de inundación.

## Cómo convivir con las inundaciones

Aprender a vivir con las inundaciones significa no sólo tener formas y medios de salida cuando éstas ocurren, sino también sacar provecho de lo bueno que tienen para darnos y lo que podemos aprender por causa de ellas. Éste es, al final, el conocimiento acumulado a lo largo de generaciones por las poblaciones que viven al margen de los grandes ríos de nuestro país y la razón por la cual muchas de las poblaciones modificaron su forma de vivir, por una nueva. Después de las inundaciones, la tierra es más fértil, los pastos son más suculentos y el agua es más abundante; la gente lo sabe y por eso prefiere correr el riesgo de perderlo todo de vez en cuando en lugar de tener menores rendimientos agrícolas durante toda una vida viviendo en las zonas alejadas de los ríos. Sin embargo, hay que saber llevar esa convivencia a niveles prácticos.

Con las inundaciones no sólo se aprende cómo convivir con la tierra y el agua, sino también a cómo pensar el uso del espacio físico para el crecimiento económico y a reorganizar la comunidad en función de los desafíos y de las oportunidades que surgen. Ésa es la historia de cómo los egipcios trataron con las inundaciones del Nilo. Cuando el rey Zozer se enfrentó a la sequía, dijo desesperado:

“Vivo en la desolación porque el Nilo, durante mi reinado, no se desbordó por un periodo de siete años. Falta trigo, los campos se volvieron áridos y los alimentos languidecen. Las criaturas lloran, los jóvenes se debilitan, los viejos se tambalean”.

Las inundaciones del Nilo eran la bendición de los dioses, que fertilizaban sus semillas enterradas en las tierras fangosas y desarrollaba la actividad comercial entre el Alto y el Bajo Egipto, y entre estos y los pueblos de la entonces Mesopotamia. Decía Herodoto, el historiador griego, que Egipto era un don del Nilo, y alguien añadió: “un prodigio de los hombres”.

Pero no sólo los egipcios supieron sacar provecho de las inundaciones para la actividad agrícola, sino también para medir y adjudicar tierra entre las distintas familias campesinas. Fue debido a la planificación del uso de la tierra después de las inundaciones y a la necesidad de una rápida medición de los campos y su división entre agricultores, que se inventó la mágica cuerda de trece secciones y doce nudos, que transformaba las superficies circulares en ángulos rectos, permitiendo así un mayor

aprovechamiento del espacio, en lo que más tarde se vino a transformar en el famoso Teorema de Pitágoras. La complejidad del diseño y la gestión de los sistemas de canales de irrigación y la división de la tierra, no sólo contribuyeron al desarrollo de la geometría, sino también de las técnicas de utilización de los materiales que fueron aplicadas en la construcción de las siete maravillas del mundo.

Vivir con las inundaciones significa, pues, más allá de sacar el mayor provecho de los elementos de la naturaleza para alcanzar el desarrollo, también producir nuevo conocimiento científico que pueda ser aplicado para otros fines, en otras circunstancias y en otros lugares.

### Las estrategias a seguir

- Asumir la realidad de la región.
- Preparar a la población para la adversidad.
- Convivir con la naturaleza, esto es, compartir el mismo territorio. No producir alteraciones en el ambiente físico pues se vuelven contra el hombre.
- No combatir al río, sino conocerlo en sus efectos (el río no es “malo”).
- Prevenir su acción negativa cuando crece.
- Construcción de viviendas lacustres.
- Ley que contemple el traslado de las familias en riesgo de inundación.
- Que la población con problemas de inundación debe tomar conciencia del riesgo al que está expuesta y estar preparada para enfrentarla, una de las cuales son: tener ciertos medios para poder moverse (lanchas). Tener equipos de salvamento. Conocer las normas mínimas de salvación.
- Simulacros coordinados por Protección Civil.
- Campañas radio, TV y prensa.

De una manera particular la alternativa más económica y que puede ayudar a los proyectos de control de inundaciones es:

Convivir con la inundación recurrente:

- Asumir la realidad de inundaciones recurrentes en la región.
- Preparar a la población para la adversidad temporal.
- No producir alteraciones en el ambiente físico que generen otros problemas más complejos de solucionar.

- Prevenir la acción negativa del río cuando crece (zonas lacustres o bajas de regulación temporal también llamadas “fusible”).
- Construir viviendas lacustres; ver fotos 8, 9, 10 y 11.
- Contemplar el traslado (temporal y/o definitivo) de las familias en riesgo de inundación.



Foto 8. Algunos ejemplos de cómo deberían de construirse las viviendas en las llanuras de inundación, en las zonas bajas.



Foto 9. Algunos ejemplos de cómo deberían de construirse las viviendas en las llanuras de inundación, en las zonas medias.



Foto 10. Otro ejemplo de cómo deberían de construirse las viviendas en las llanuras de inundación, en las zonas medias.



Foto 11. Otro ejemplo de cómo deberían de construirse las viviendas en las llanuras de inundación, en las zonas bajas.

Establecer sistemas de alerta para que la población pueda ponerse a salvo.

Proyectar la construcción de obras civiles:

- Terraplenes protegidos por obras.
- Marginales.
- Muros en concreto o en gaviones.
- Diques longitudinales.
- Embalses de regulación.
- Canales de desviación o *by-pass*.
- Obras de último momento para evitar inundaciones generalizadas.
- Tajos (desvío del cauce a zonas de menor riesgo, un ejemplo palpable, las zonas lagunarias).
- Zonas de inundación provocada.

El diseño de las obras combina varias disciplinas, Hidráulica Fluvial, Geotecnia y Estructuras. La primera, como ya se ha explicado, suministra la información básica que permite determinar las condiciones de cimentación y la magnitud de las fuerzas que van a actuar sobre las obras que se proyecten.

### Casas flotantes para los caprichos de la naturaleza (tecnologías innovadoras)

Desde Yakarta hasta las costas de Luisiana, las inundaciones preocupan cada vez más. Esto es especialmente cierto en las regiones con deltas, donde, como sucede en muchas de las grandes ciudades del mundo, se unen un río y el mar para provocar un doble riesgo.

En ningún lugar preocupa más este problema que en Holanda, donde la población ha vivido al borde del desastre durante siglos. Cerca de la cuarta parte del país es

terreno robado al mar, y la mitad está situada a nivel del mar o por debajo de éste; ver [foto 12](#).



Foto 12. Lidia Filius y su hijo Ted viven en una casa sobre pontones.

La vulnerabilidad del país ante el creciente nivel de las aguas, atribuido en general al cambio climático, se mostró plenamente el pasado verano en la Bienal de Arquitectura de Róterdam, titulada La inundación, que contenía propuestas para un estadio de fútbol flotante y casas construidas en riberas sintéticas flotantes, parecidas a esponjas capaces de absorber las inundaciones.

Comenta Adriaan Geuze, paisajista y comisario de la bienal: “Desde la Segunda Guerra Mundial, los holandeses han confiado en la tecnología para protegerse de los ríos y del mar (...) Estamos convencidos de que no es una forma inteligente de enfrentarse a la realidad, y tres meses después de la bienal, Katrina nos dio la razón”.

Para los holandeses, como para todos los demás, no parece haber soluciones sencillas; sólo costosas, como abandonar el terreno vulnerable. Por primera vez en su larga historia, Holanda ha empezado a retirarse estratégicamente; el año pasado, el gobierno, iniciando un programa de 15 años, empezó a comprar terreno y reservarlo como llanura de inundación, principalmente a lo largo de los ríos. Los holandeses exploran ahora una solución tan antigua como la primera inundación: la arquitectura flotante. La idea está todavía en sus primeras fases, sólo se han construido unas cuantas casas y se están levantando algunas urbanizaciones, pero ya ha llamado la atención de los principales diseñadores holandeses y de algunos promotores urbanísticos; ver [foto 13](#).



Foto 13. En Maasbommel, al costado, las casas se apoyan sobre tierra firme o pueden subir o bajar en postes con el ir y venir del agua.

El diseño de estas casas, llamado Waterstudio, se dedica exclusivamente a esos proyectos. Dice Olthuis, arquitecto holandés: “ya que aprovechar el agua, en lugar de simplemente defenderse de ella, es una idea nueva”. Dura Vermeer, uno de los principales constructores del país. Ha creado una comunidad de 48 viviendas anfibias en Maasbommel, a orillas del río Maas. Estas casas de 65 m<sup>2</sup> y llamativos colores, diseñadas por Factor Architecten, un estudio grande de Ámsterdam, están situadas en un antiguo aparcamiento de un área de recreo. Ger Kengen explica, “Hay que diseñarlo todo como si estuviera en el suelo, aunque situado a una altura de tres metros”.

El estudio Dura Vermeer está diseñando también una “ciudad flotante” para 12,000 personas junto al aeropuerto de Schiphol, cerca de Ámsterdam. El diseño costará más de un millón de euros, de los cuales el Estado pagará el 45%. El objetivo es una ciudad que pueda convivir con la inundación, no sólo protegerse de ella, mediante una serie de estructuras flotantes y un extenso sistema de almacenamiento del agua de lluvia, entre otros medios.

Se trata de un reto tanto estético como comercial, señala Herman Hertzberger, considerado por muchos un respetado abuelo de la arquitectura holandesa. Nadie sabe cuál debería ser el aspecto de una casa flotante, dice, o cómo debería funcionar. Hertzberger ofreció hace varios años diversas posibilidades en el diseño de una casa que da vueltas sobre una base de flotadores de acero que la giran “hacia el sol o para apartarla del vecino”, dice.



La casa se encuentra en Middelburg, la capital de Zeeland, el área más golpeada por la inundación de 1953, en la que murieron 1,800 personas. El prototipo, ahora propiedad del arquitecto Don Monfils y su esposa, Lidia Filius, sirvió para que un constructor holandés encargara la creación de dos grupos de casas flotantes, cada una sobre enormes cimientos de hormigón, en la misma zona. Según Hertzberger, habrá unas 20 casas.



Foto 14. Una casa anfibia, remolcada a IJburg.

Pero aún está por ver cómo evolucionará la forma de las casas flotantes.

Algunos arquitectos siguen mostrándose escépticos respecto a la viabilidad a gran escala de estas casas. Art Zaaijer diseñó seis para una urbanización situada a las orillas de un lago en IJburg, a las afueras de Ámsterdam. Son anfibias, y dado que se asientan en una reserva natural, están diseñadas para no contaminar; ver foto 14.

### Reflexiones sobre la convivencia con las inundaciones

La manera como se enfrente la convivencia con las inundaciones está íntimamente ligada con dos aspectos de los usuarios de la tierra:

1. Los usos y costumbres.
2. El criterio económico financiero.

#### Ejemplo colonia Las Gaviotas, Villahermosa

La colonia Las Gaviotas era en 1980 una colonia popular localizada en la ribera derecha del río Bajo Grijalva, en la margen opuesta a la ciudad de Villahermosa. La mayor parte de las casas que la conformaban estaban construidas de troncos de árbol o palma, con techos de palapa y contaban con el mínimo de mobiliario, por lo general una “parrilla” de gas, una mesa, sillas y en lugar de camas, tenían hamacas. Difícilmente se encontraba una casa con piso de cemento, ya que por lo regular era de tierra.

Por su ubicación, los pobladores de dicha colonia estaban conscientes que cada año el río crecía lo suficiente para rebasar el pequeño bordo que los protegía y provocaba una “ligera inundación” (si es que el término es válido) de unos 20 cm en promedio.

Los habitantes de dicha colonia, sabían que vivir alejados de las inundaciones, implicaba el tener que caminar media hora o una hora adicionales para llegar a sus lugares de trabajo, que de otra manera estaban a cinco minutos cruzando el río en lancha colectiva. Adicionalmente, el buscar un terreno en zona “no inundable”, implicaba tiempo, ya que no abundan los terrenos secos, recursos para comprar el terreno y la posterior construcción de la vivienda.

Por otro lado, los pobladores conocían desde mucho tiempo atrás, que las “inundaciones” duraban en promedio unas dos o tres semanas.

De manera que en una rápida evaluación, se puede ver que existen:

#### Factores positivos

- Casa de poco valor comercial.
- Fácilmente reparable.
- Escasos enseres domésticos.
- Cercanía al lugar de trabajo.

#### Factores negativos

- Escasos sitios para reubicación.
- Lejanía de los centros de trabajo.
- Recursos o tiempo adicional para transporte.
- Soportar tiempo de inundación.

Con estos factores, se puede ver que la solución menos agresiva se acerca más a quedarse en el sitio y no buscar alternativas de sitios para nuevas viviendas, con la única excepción de tener que soportar la inundación durante el tiempo que durara.

Aunque parezca difícil de creer, los habitantes de Las Gaviotas, optaban por la opción de soportar la inundación y llevar la vida lo más en armonía con la inundación, de manera que para evitarse mayores molestias, las acciones de convivencia con las inundaciones consistían en colocar tabiques en la base de los muebles para levantarlos gradualmente conforme la inundación crecía y colgar las hamacas de soportes más altos. Cuando el agua bajaba de nivel, se hacía la operación contraria, hasta que el nivel del agua volvía a la normalidad.



Existen en nuestro país, otros ejemplos que indican que el hombre puede aprovechar el conocimiento que tiene de la ocurrencia de avenidas para aprovechar de manera eficiente los terrenos inundables disponibles en las ciudades.

Todos los que alguna vez han visitado la Ciudad de Monterrey saben que es cruzada de poniente a oriente por el río Santa Catarina y probablemente más de uno ha comprado en el mercado que se encuentra bajo el denominado "Puente del Papa" llamado así en honor de Su Santidad Juan Pablo II.

El río Santa Catarina usualmente lleva una corriente mínima de agua durante todo el estiaje y sólo durante los meses de lluvias aumenta su escurrimiento.

Para aprovechar la gran superficie ociosa del río, se ha construido un cauce de estiaje que abarca una cuarta parte del ancho total del río y las tres cuartas partes restantes se ha acondicionado una planicie donde se han acondicionado canchas deportivas, un espacio para pruebas de manejo, es el sitio donde se instalan los eventos transitorios como circos, entre otros; es decir, para cualquier actividad que no requiera construcciones permanentes. Las autoridades y todo Monterrey están conscientes que en algún momento el río puede aumentar su nivel y destruir todo lo que se ha construido en ese lugar, pero se sabe que la frecuencia de que algo así llegue a pasar, hace que el costo de los daños pueda ser absorbido por el costo de tener que construir todas esas construcciones en lugares más lejanos y dispersos; ver [foto 15](#).



**Foto 15.** Construcción de canchas deportivas en la zona inundable del río Santa Catarina en Monterrey, N.L. Nótese al frente la margen derecha del cauce de estiaje.

Un caso parecido sucede en la Ciudad de Torreón Coahuila, que también es parcialmente atravesada por el río Nazas, que además sirve de límite entre los estados de Coahuila y Durango. Aquí el río contiene construcciones de esparcimiento, así como vialidades que funcionan la mayor parte del tiempo, ya que el río Nazas está controlado aguas arriba por las presas El Palmito y Las Tórtolas.

Varias ocasiones ha ocurrido que aumenta el nivel del río y se deben cerrar las vialidades al paso de vehículos y limpiar y repararlas después de las avenidas, pero eso representa un costo menor que encontrar espacio disponible al interior de la ciudad.

Un tercer ejemplo: es la ciudad de San Luis Potosí, que es atravesada por el río Santiago en donde se han acondicionado hermosas vialidades que son cerradas a la circulación cuando se presenta alguna avenida y se reabren una vez que ésta ha pasado, teniendo además una imagen urbana muy atractiva; ver [foto 16](#).



**Foto 15.** Boulevard sobre el cauce del río Santiago. Nótese que se ha respetado al máximo el área hidráulica. En esta vista la vialidad se encontraba cerrada por el inicio de una avenida.

Estos son solo unos ejemplos de la posible convivencia del hombre con las inundaciones.

## 4.10 Manejo de cuencas

El manejo de cuencas es un proceso de prueba y ajuste para contrarrestar, remediar o al menos mitigar los efectos negativos de las acciones antropogénicas en las cuencas y sus cauces. Por lo anterior, es necesaria una vigilancia e inspección permanente de las mismas, para detectar las intervenciones y modificaciones que ocurren y estar en posibilidad de analizar e instrumentar las medidas correctivas que se requieren para restablecer en lo posible las condiciones originales de funcionamiento de la cuenca o bien buscar soluciones que protejan a la pobla-

ción contra las consecuencias perjudiciales a que pueda estar expuesta, como por ejemplo: las inundaciones.

Es necesario, entonces establecer las **medidas estructurales y no estructurales** en las cuencas que sirvan para atenuar los daños producidos por las inundaciones.

Se consideran **medidas estructurales** a las intervenciones constructivas efectuadas para resolver un determinado problema en la cuenca y los cauces, que involucran obras de ingeniería. Las **medidas no estructurales** son intervenciones mediante leyes, regulaciones y divulgación de información a la población que orientan el uso del suelo para evitar que quede expuesta al efecto de inundaciones.

**Tabla 1. Acciones para atenuar daños por inundación en diferentes zonas de una cuenca**

Cuenca	Acciones estructurales	Acciones no estructurales
Alta	Construcción de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presas de almacenamiento.</li> <li>• Presas de regulación de avenidas.</li> <li>• Presas de retención y almacenamiento de azolves y de disipación de energía.</li> <li>• Presas de derivación.</li> <li>• Obras de reforestación y control de erosión en laderas y cauces.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inspección sistemática de cuencas para identificar procesos geomorfológicos y parámetros de equilibrio dinámico del río incluyendo medición de escurrimientos y sedimentos: gasto líquido, gasto sólido, pendiente, y granulometría de sedimentos y arrastre de fondo, además de efectuar el levantamiento e inventario de las obras de cruce de cauces existentes cada cinco años:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• a) acueductos, oleoductos, gasoductos, tuberías de telecomunicación;</li> <li>• b) autopistas, carreteras y caminos rurales, ferrocarril;</li> <li>• c) terracerías;</li> <li>• d) puentes, vados y alcantarillas;</li> <li>• e) presas, bordos, diques, presas de jales y obras de retención de azolve;</li> <li>• f) rellenos o tiraderos de basura;</li> <li>• g) obras hidráulicas en los cauces.</li> </ul> </li> <li>2. Actualización hidrológica-hidráulica de escurrimientos de las cuencas naturales y las cuencas modificadas; en el caso de cuencas con presas determinar la política de operación de los embalses de las presas y la definición de curvas índice para las presas importantes.</li> <li>3. Estudios de riesgo de detección de deslizamientos y avalanchas en laderas y márgenes del cauce principalmente en las cuencas altas.</li> <li>4. Estudios de manifestación de impacto ambiental y sistemas de verificación de medidas de atenuación para la autorización de nuevas obras.</li> <li>5. Reglamentación sobre zonas aptas y no aptas para desarrollo urbano, incluyendo la ejecución de cortes y rellenos en zonas rurales y urbanas con definición de zonas de reserva y preservación de zonas naturales o inducidas para inundación y regulación de avenidas y desarrollo de normas y reglamentos de construcción de uso del suelo con vedas en zonas con riesgo de inundación.</li> <li>6. Pronóstico de lluvia y avisos de alerta.</li> <li>7. Planes de acción ante emergencias, incluyendo mapas con riesgo de inundación para diferentes periodos de retorno (5, 10, 15, 25, 50, 100, y 1000 años) en cuencas sin presas, o para diferentes caudales de descarga del vertedor por presa definiendo la capacidad de conducción hidráulica de cauces naturales o invadidos.</li> <li>8. Determinación de población en riesgo y del valor económico de daños en zonas agrícolas, industriales, turísticas, servicios, urbanas con riesgo de inundación.</li> </ol>
Media		
Baja	Construcción de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obras de encauzamiento a zonas de regulación natural mediante cortes en el terreno natural.</li> <li>• Obras de rectificación con estructuras disipadoras de energía cuando la rectificación aumenta el gradiente hidráulico del escurrimiento natural.</li> <li>• Obras de protección marginal de ríos.</li> <li>• Presas de derivación.</li> </ul>	

## Clasificación geomorfológica de las cuencas

Las cuencas hidrográficas pueden dividirse de acuerdo con sus características geomorfológicas en tres tipos principales muy definidos, que deben atenderse de una manera distinta dado su funcionamiento diferente.

- **Cuenca alta.** Forma parte de la cuenca hidrográfica más elevada, en la cual predomina la erosión y socavación, que produce carga de sedimentos de grano grueso hacia los cauces. Estos tienen forma de valles estrechos con sección transversal en forma de "V", donde los ríos son jóvenes y ocasionan erosión vertical y regresiva del fondo. Tienen pendientes importantes del cauce principal mayores de 25°. En estas zonas se manifiestan: caídos de roca, deslizamientos, depósitos de talud, cañones estrechos, cascadas, rápidas de flujo; ver [figuras 1 y 2](#).
- **Cuenca media.** Corresponde a la parte de la cuenca hidrográfica, en la cual persiste un equilibrio entre los aportes y salidas de sedimentos de una corriente. En general, no se aprecia erosión significativa del cauce. En éstas zonas los cauces tienen forma de valles amplios con sección transversal en forma de "U", donde ocurre poca erosión vertical del fondo y lateral de las laderas, en los cuales predominan depósitos aluviales granulares (gravas y arenas) confinados por las laderas de los valles. La pendiente del cauce principal varía entre los 10° y los 25°, en donde se manifiestan: terrazas aluviales o depósitos de talud erosionados por cauces trenzados. Se inicia la formación de meandros; ver [figura 3 y 4](#).
- **Cuenca baja.** En esta parte de la cuenca hidrográfica se deposita el sedimento proveniente de las cuencas altas y medias. En estas zonas se descargan y acumulan los sedimentos finos y arrastre de granulares que se depositan sobre planicies de inundación con bajas pendientes menores de 2°, en forma de conos de deyección (ver [figura 5](#)), deltas y estuarios (ver [figura 6](#)), en donde el flujo de los ríos divaga en cauces canaliciformes y trayectorias de flujo meándrico (ver [figura 7](#)). La erosión del mismo generalmente es lateral con ataque hacia las márgenes.

Con base en la zonificación anterior de las cuencas se proponen llevar a cabo las acciones que se indican en la [tabla 1](#).

Figura 1. Sección tipo "V" de un cauce en cuenca alta

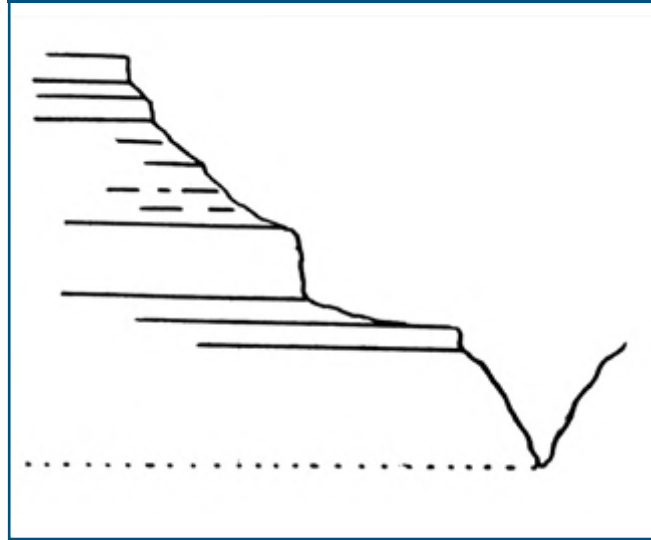


Figura 2. Etapas de desarrollo de un río en la cuenca media (*madure stream*)

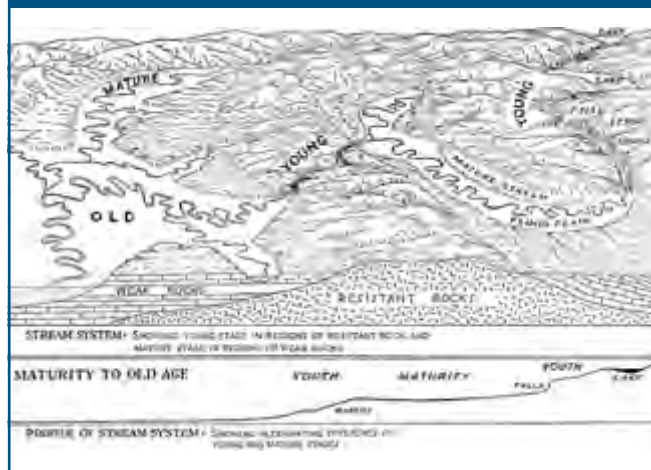




Figura 3. Tipo de cascadas que se desarrollan en las cuencas altas

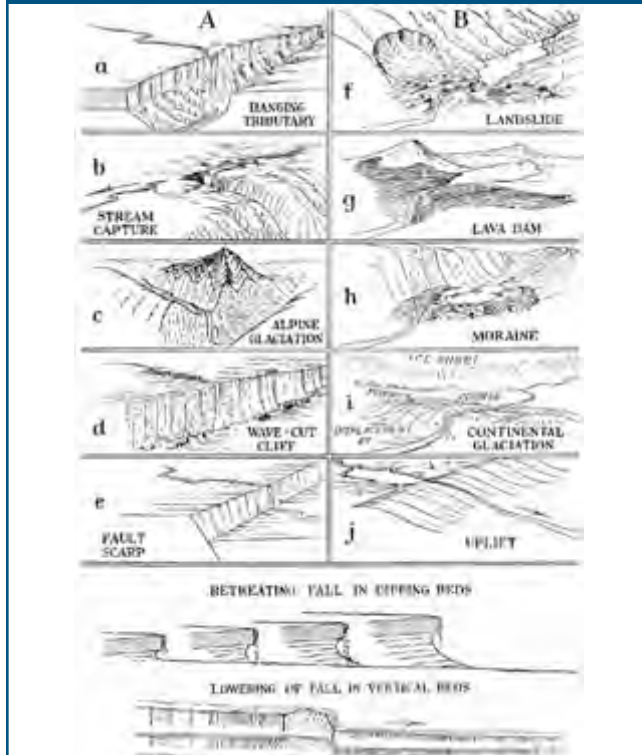


Figura 5. Etapas de desarrollo de un abanico aluvial

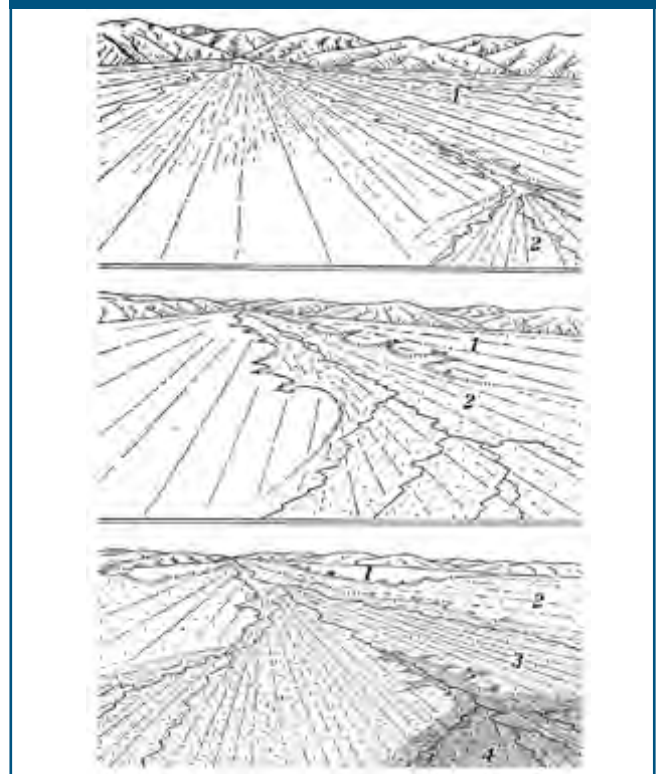


Figura 4. Formación de terrazas aluviales en un valle tipo "U", en una cuenca media

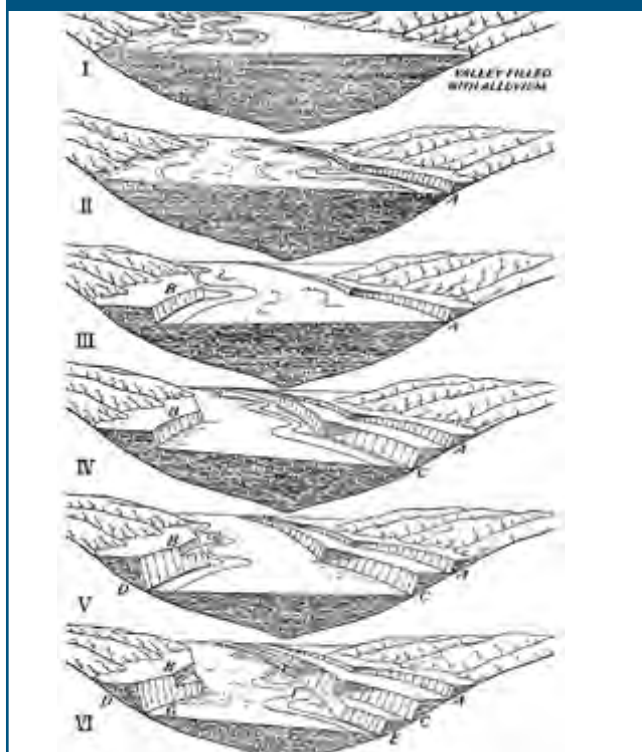


Figura 6. Desarrollo de un delta en zona de descarga de una cuenca baja

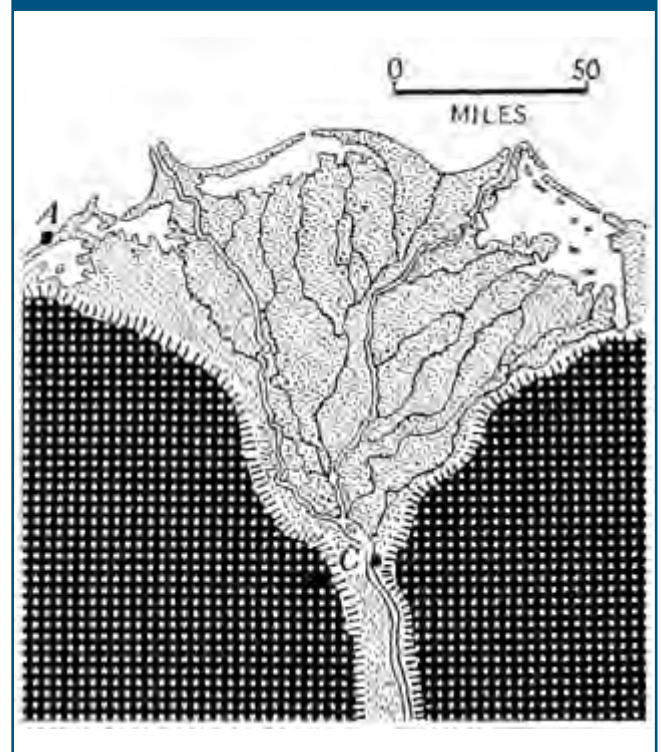
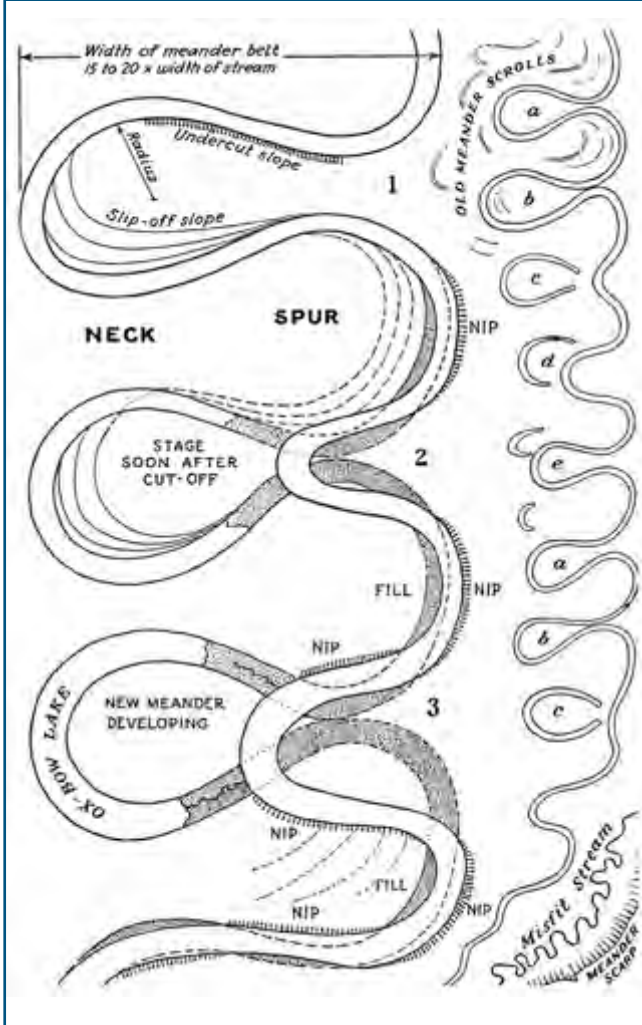


Figura 7. Desarrollo de un flujo meándrico en planicie aluvial en la cuenca baja



## Referencias bibliográficas

- Lobeck A. K. *Geomorphology: An Introduction to the Study of Landscapes*, McGraw-Hill, 1939.



## 4.11 Efectos del cambio climático e impulso a la ciencia y tecnología

Uno de los temas más en boga actualmente es el del Cambio Climático Global. Todos hablan sobre él. A todos les parece evidente que el incremento que observamos en los desastres (llamados) naturales se debe al cambio climático global. Cada vez que ocurre algo inusual en la naturaleza se lo adjudicamos a este fenómeno. Pero la gran mayoría de las personas que hablan sobre el cambio climático global no tienen una idea certera sobre lo que exactamente es y, por lo tanto, mucho de lo que se escucha con respecto a él proviene de fuentes dudosas. Pero, el instinto dice que, en efecto, puede ser un factor importante en el tema objeto de este manual: las medidas para control de inundaciones.

Por otro lado, todos aceptan que la ciencia y la tecnología son importantes, pero, abstractamente importantes. Pocas personas se dan cuenta de su influencia concreta y específica sobre todo lo que hacemos en la vida. De alguna manera, muchos tienen la sensación de que la ciencia y la tecnología, así como sus actividades manifiestas de investigación y desarrollo tecnológico, se encuentran ubicadas dentro del perímetro de las universidades y de algunos institutos de investigación y desarrollo tecnológico. Algunos inclusive tienen estereotipos de cómo es un científico o investigador, en lo físico, en su personalidad y en su actitud. Algo parecido, aunque quizá menos extremo nos pasa con los ingenieros y otro tipo de tecnólogos. Muchos aceptan abiertamente, a veces hasta presumiendo, de nuestro muy limitado conocimiento en ciencia y tecnología, creyendo inocentemente que no tiene ningún efecto práctico sobre nuestras vidas. Aunque se aceptara que sí lo tiene, existe una fuerte tendencia a desentenderse de ella y pensar que eso es para los científicos y para los ingenieros, para los investigadores y para los desarrolladores de tecnología. En realidad, nosotros, los seres comunes y corrientes no tenemos ningún uso para ella.

### El clima y su variabilidad

El clima de un cierto sitio (y de una cierta época del año) es el conjunto de valores de las variables atmosféricas

que se consideran normales o muy comunes en dicha zona (y época del año). En cierto sentido el clima es una estadística de tendencia central de las condiciones meteorológicas variables que se observan diariamente. Así pues el hecho de que el día de hoy se presente lluvia intensa es una manifestación meteorológica (o de estado del tiempo). Sin embargo, simultáneamente a la presentación o no presentación de lluvia intensa el día particular de hoy, se podría definir cuál es el clima de precipitación pluvial para una fecha como hoy en el mismo sitio específico, mismo que se obtendría, en forma simplificada, como el promedio de las lluvias que se han presentado a lo largo de los años en una fecha como hoy en dicho sitio. El promedio no debe ser de unos cuantos años, sino de al menos unos 30, pero idealmente aún más largo. Más aún, esta condición del clima se podría plantear de diversas formas, por ejemplo: como la lámina promedio precipitada a través de los años, o la probabilidad de que se presente lluvia mayor o igual a un cierto umbral, entre otros.

Observe que el hecho de que hoy haya llovido  $h_o$  mm no cambia el clima del sitio, sin importar si  $h_o$  es mayor, mucho mayor o inclusive menor que  $h_{clim}$ , incluyendo el caso de que  $h_o$  fuera nulo (sin lluvia). En todo caso, al estimar las condiciones climáticas para una fecha como hoy en los años futuros, este valor de  $h_o$  llovido hoy tendrá alguna influencia en el cálculo de la estadística de tendencia media (media, mediana o moda) que calculemos, pero si la muestra de años es suficientemente grande, el efecto será menor. Resulta muy importante enfatizar que no importando que tan grande o pequeño sea  $h_o$  con respecto a  $h_{clim}$ , su ocurrencia no es evidencia de que el clima ha cambiado en el sitio. Esto incluye, inclusive, al caso de que  $h_o$  tenga un valor mayor que el máximo de los valores  $h_i$  medidos en cada año de la muestra en la misma fecha y también incluye al caso de que  $h_o$  resulte menor que el mínimo de los  $h_i$  medido a lo largo de los años. Un solo día con  $h_o$  es una manifestación meteorológica del clima de precipitaciones en el sitio para esta fecha, pues siempre tendrá alguna probabilidad finita de ocurrir sin que haya existido un verdadero cambio climático.

Y ¿la variabilidad climática? La variabilidad climática es parte de la definición misma del clima en un cierto sitio (en cierta época del año), pues define cual es el rango de valores dentro del cual la variable  $h$  pueda moverse sin que se considere el caso como anormal (o muy poco

frecuente, o atípico). No se define de una forma única, pero es frecuente usar para la variabilidad una de las estadísticas de dispersión de la muestra, la más comúnmente usada es la desviación estándar. Aunque no es una buena medida de variabilidad climática para la variable lluvia (por no tener una distribución de frecuencias simétrica), se continuará usando en el ejemplo el símbolo:  $h$ . Entonces se podría decir que las condiciones normales (o usuales, o típicas) en el sitio y la fecha de interés (una forma de establecer el clima) es de  $h_{med} \pm h_{d.e.}$ , o sea el valor medio de la muestra histórica más o menos la desviación estándar de la muestra histórica. Otra forma de presentar este rango normal sería como:

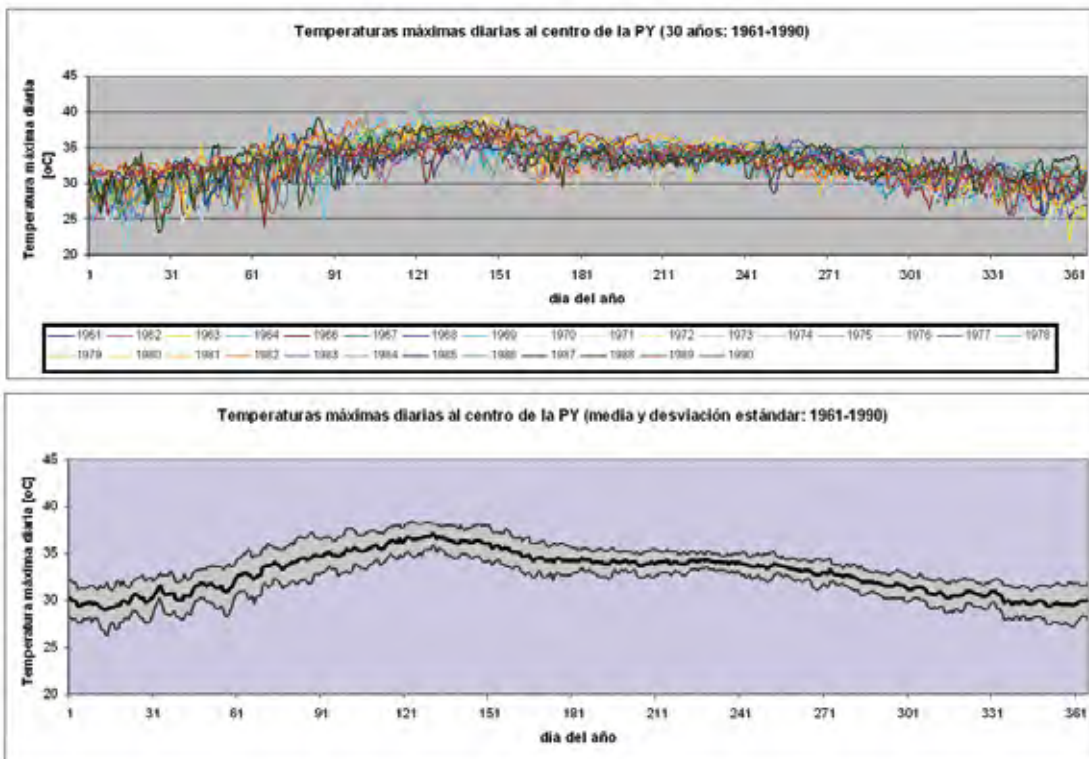
- $[h_{med} - h_{d.e.}, h_{med} + h_{d.e.}]$

Pero el hecho de que se presente un valor ho fuera de este rango típico, lo único que indica es que se manifestó un valor que es atípico, anormal o infrecuente. No puede y no debe interpretarse como una evidencia de cambio climático. En la [figura 1](#) se muestra un ejemplo de trazas de la variación diaria de una variable atmosférica para

40 años consecutivos (en lo que parecería ser una gráfica de espagueti), e inmediatamente abajo el equivalente expresado como la media de las trazas anuales individuales y una banda de más ó menos la desviación estándar. Ambas son formas de mostrar el clima de dicha variable a lo largo del año, pero la de abajo es evidentemente más fácil de entender y de manejar.

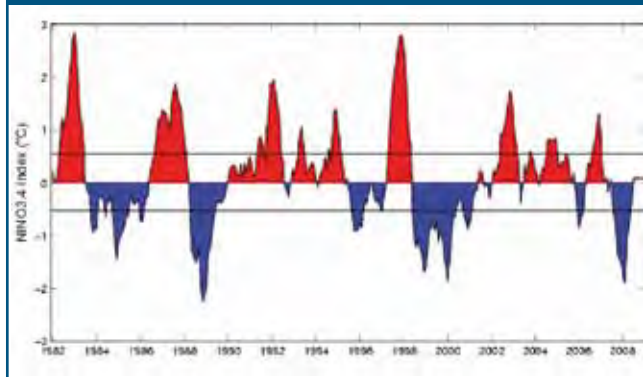
Otro ejemplo muy conocido de variabilidad climática, en este caso en una escala mucho mayor que un simple punto de medición, es la presentación pseudo periódica de muchas oscilaciones en los valores de largo plazo de diversas variables atmosféricas y/o oceánicas, el más conocido de los cuales es el fenómeno de El Niño ó La Niña (donde utilizamos coloquialmente el nombre de su parte oceánica); no se trata de cambio climático, porque es una condición que oscila entre los extremos que define su nombre; pero tampoco se trata de un cambio sistemático en una sola dirección. Los inviernos lluviosos y los veranos secos que caracterizan la fase de El Niño en buena parte del territorio nacional no llegan para quedarse. Se sabe que, eventualmente se regresará a una condición neutra y eventualmente a la fase de La Niña, en cierto

**Figura 1. Dos formas de mostrar la variación de la temperatura máxima a lo largo del año para el centro de la Península de Yucatán**



sentido, opuesta a la de El Niño tanto en manifestación como en consecuencias locales. En la [figura 2](#) se muestra una gráfica de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar a lo largo del tiempo en el Pacífico sobre el Ecuador, en el sector denominado 3.4, el que ha demostrado tener mayor correlación con las condiciones climáticas locales en México. Es, definitivamente parte del clima, pero no es cambio climático.

**Figura 2. Evolución en el tiempo de la anomalía de la temperatura de la superficie del mar en la región 3.4 (fuente: IRI, Universidad de Columbia)**



¿Cuándo, pues, se tendría evidencia de cambio climático? La evidencia de cambio climático aparece cuando el clima (no su manifestación en un día único) cambia, es decir, cuando las estadísticas que definen el clima cambian sistemáticamente hacia la alza o sistemáticamente hacia la baja.

En nuestro ejemplo simplista, el cambio climático implicaría un cambio sistemático en  $h_{med}$ , o un cambio sistemático en  $h_{d.e.}$  o un cambio sistemático en ambas. En el primer caso sería un cambio de la tendencia media sin cambio en la variabilidad, en el segundo caso sería un cambio en la variabilidad sin cambio en la tendencia media y en el tercer caso sería un cambio en la tendencia media y en la variabilidad. Nuevamente se insiste que una sola manifestación de un valor o cualquiera no demuestra un cambio en las estadísticas.

¿Cuál sería una manifestación de cambio climático en un fenómeno como el de El Niño-La Niña? Por ejemplo: que sus estadísticas cambiaran sistemáticamente. Podría ser en la frecuencia de la presentación de alguna o ambas de las fases del fenómeno, podría ser en la intensidad de alguna o ambas de las fases del fenómeno, podría ser un desfase en el tiempo de los instantes en que

actualmente se manifiestan los picos (invierno) o inclusive podría ser un desfase geográfico de las zonas que presentan anomalías positivas o negativas de la temperatura de la superficie del mar. Pero la presentación de una cierta fase del fenómeno con una intensidad inusual no es evidencia, por sí mismo, de cambio climático. Para muestra, basta recordar el fenómeno de El Niño de 1982, momento en el cual se mostró como evidencia de cambio climático advirtiéndonos que a partir de ese momento así serían, cuando las siguientes manifestaciones de dicha fase resultaron nuevamente muy moderadas. Tiempo después en el evento de El Niño 1997-1998, aún más extremo que el de 1982, se repitió el proceso: ahora sí era el cambio climático global y así serían de ahí en adelante. Diez años han transcurrido sin nuevos eventos de esa magnitud.

Del ejemplo puntual presentado se identifica la existencia de un problema práctico. Si las estadísticas que definen el clima, las obtenemos operando sobre la muestra de años más larga posible, idealmente un mínimo de 30 años, pero si se tuvieran 100 se haría sobre 100 años, entonces ¿Cómo se podrían detectar cambios en las estadísticas? Si se obtiene un solo valor de  $h_{med}$  y un solo valor de  $h_{d.e.}$ , ¿cómo se puede detectar un cambio sistemático en el tiempo? Por ahora, el lector no se debe preocupar, más adelante, por supuesto, se verán unos casos prácticos que lo muestran.

También es importante enfatizar que el ejemplo que se ha usado por simplicidad, asignaría un valor o rango climático distinto a cada día del año. Esto, aunque estrictamente correcto, no es usual. Lo más común es que se definan las condiciones climáticas de un lugar, por mes completo del año o en el mejor de los casos por década de días, semana o pentada (cinco días). Es mucho más frecuente hablar del clima de la Ciudad de México en junio que del clima de la Ciudad de México para el 25 de junio.

Esto lo único que indica es que se consideran relativamente pequeñas las variaciones del clima entre el inicio y el final de mes y por lo tanto se aumenta el tamaño de la muestra en 30 veces al considerar todos los días de junio de todos los años disponibles para obtener la media y la desviación estándar, de la muestra y estas estadísticas se consideran aplicables para compararlas contra cualquier día del mes en lo individual. También es común obtener estadísticas anuales, pero ahí se pierde claramente una oscilación muy conocida que de hecho es parte del clima del sitio, la oscilación anual (que deja saber, por

ejemplo: que junio es más caluroso que diciembre en la Ciudad de México).

Finalmente, se presenta un ejemplo realista sobre el cálculo del clima sobre dos puntos distintos de la República Mexicana, plétórico de gráficas para aclarar conceptos elementales sobre este tema asociado, pero no nuclear, en cuanto a cambio climático global.

## Diversos tipos de cambio climático

Es difícil tratar de forma convincente el tema de los posibles impactos concretos del Cambio Climático Global (que en adelante por brevedad llamaremos el CCG) en la planeación, análisis, implementación y operación de medidas para el control de inundaciones sin entender, al menos superficialmente, de lo que verdaderamente se trata este fenómeno. De hecho, se restringirá al CCG por incremento en la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (que en adelante por brevedad se denominará GEI). Pero el cambio climático no es exclusivamente el efecto global que recientemente está de moda. Existen muchas formas de cambio climático, algunas naturales y otras generadas por la actividad humana. Concentrándose solamente en éstas últimas, se podrían identificar varias formas de cambiar el clima que no tienen mucho que ver con los GEI. Por ejemplo: el llamado efecto de la isla de calor sobre todas nuestras grandes ciudades es una forma de cambio climático local.

Simplemente, al substituir a las superficies naturales originales por materiales como el asfalto y el concreto, se modifican las características de absorción y reflexión de energía solar original, creando una capa superficial de aire bastante más caliente que en las condiciones originales de la zona antes de ser urbanizada. Otra forma frecuente de cambiar al clima local es a través de deforestación y/o cambios de uso del suelo. Además de los efectos ya tratados en el capítulo 3, el clima de un sitio deforestado, aún cuando lo haya sido para explotarlo agrícolaemente, cambia con respecto al original, haciéndose más caluroso, menos húmedo y con frecuencia inclusive menos lluvioso. Una más de las formas de cambiar el clima local es la de construir obras que producen grandes almacenamientos de agua, agua que de no haberse construido la obra hubiera pasado temporalmente por el cauce, pero sin residir por largos intervalos en la zona. Al hacerlo se aumenta la evaporación local, se crean efectos de brisa

inexistentes antes, se dificulta que haya cambios abruptos de temperatura en el aire muy cercano al almacenamiento, entre otros.

Así que el cambio climático del que se hablará en el resto del capítulo, el global por incremento en la concentración de los gases de efecto invernadero, no es el primero y único que han logrado imponer los hombres en nuestro planeta. Pero si tiene características globales que lo hacen de especial interés como agente modificador de las condiciones climáticas a las que el hombre estaba acostumbrado.

## Los Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI), son gases que se encuentran en concentraciones relativamente pequeñas en la atmósfera y que resultan casi 100% transparentes a la radiación solar (de onda corta) pero que no resultan igual de transparentes a la radiación que la Tierra emite hacia el espacio exterior (de onda larga). En este sentido, dejan pasar energía del espacio exterior hacia la superficie terrestre y no dejan pasar (al menos el 100%) de la energía que emite la Tierra hacia el espacio exterior. ¿Qué ocurre con la porción que los GEI no dejan salir hacia el espacio exterior? Pues es absorbido por las moléculas de estos gases, se calientan y a su vez re-emiten energía correspondiente a su temperatura. Pero esta remisión la hacen en todas direcciones, parte de ella hacia la propia superficie terrestre (que por ello recibe una cantidad adicional a la que provenía únicamente del Sol) y parte de ella hacia el espacio exterior, donde nuevamente está sujeta a este proceso de transmisión-absorción-reemisión).

¿Cuáles son los GEI? Para sorpresa de muchos, el principal gas de invernadero en la atmósfera es completamente natural, es el vapor de agua (no confundir con las nubes, que están compuestas, no de agua en estado gaseoso, sino de pequeñas partículas de agua líquida y cristales de hielo) ¿Quiere esto decir que el efecto de invernadero es natural? Sí. Hay una parte del efecto invernadero que es natural y que le permite a este planeta contar con una temperatura tal que puede mantener agua en sus tres estados comunes, sólido (hielo), líquido (agua) y vapor (de agua). Sin gases de invernadero naturales en la atmósfera, la temperatura promedio de su superficie sería de unos  $-18^{\circ}\text{C}$  (observe el signo negativo), mientras que con ellos su temperatura promedio es de unos  $+15^{\circ}\text{C}$ .

Sin gases de invernadero podría ser un planeta sin vida, o al menos con una vida dramáticamente diferente a la que conocemos actualmente.

Además del vapor de agua, otros gases de efecto invernadero son el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{NH}_4$ ), los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y los clorofluorocarbonos (CFC's), estos últimos responsables del llamado problema del "agujero de ozono".

Excepto por los últimos, que son de fabricación humana, los demás existen en ciertas concentraciones en la atmósfera de manera natural. Pero diversas actividades del hombre, directa o indirectamente, producen cantidades adicionales que se van acumulando en la atmósfera y la van haciendo cada vez menos transparentes a la energía emitida por la Tierra hacia el espacio. La efectividad para atrapar calor de los diversos gases es distinta, pero su concentración en la atmósfera también, por lo que el efecto final es la combinación de este grado de efectividad y de su concentración, además de que tiene diferentes tiempos de residencia en la atmósfera. Por ejemplo: la combustión (oxidación rápida) de materiales orgánicos (que contienen carbono) produce  $\text{CO}_2$ , incluyendo los combustibles fósiles (como petróleo y sus derivados, carbón, gas natural, madera, entre otros). La descomposición lenta de la materia orgánica también produce  $\text{CO}_2$  y metano. El proceso de digestión del ganado produce grandes cantidades de metano y con el extraordinariamente alto (y no natural) número de cabezas de ganado actuales su efecto no es despreciable.

Los motores de combustión interna también producen  $\text{NO}_x$ . En la figura 3 se presenta la evolución en el tiempo de la concentración de  $\text{CO}_2$  y de metano en el ya legendario observatorio de Mauna Loa, en las islas Hawaii, a suficiente altitud y suficiente distancia de fuentes de contaminación local como para encontrarse bien mezclado y ser representativo de condiciones mundiales.

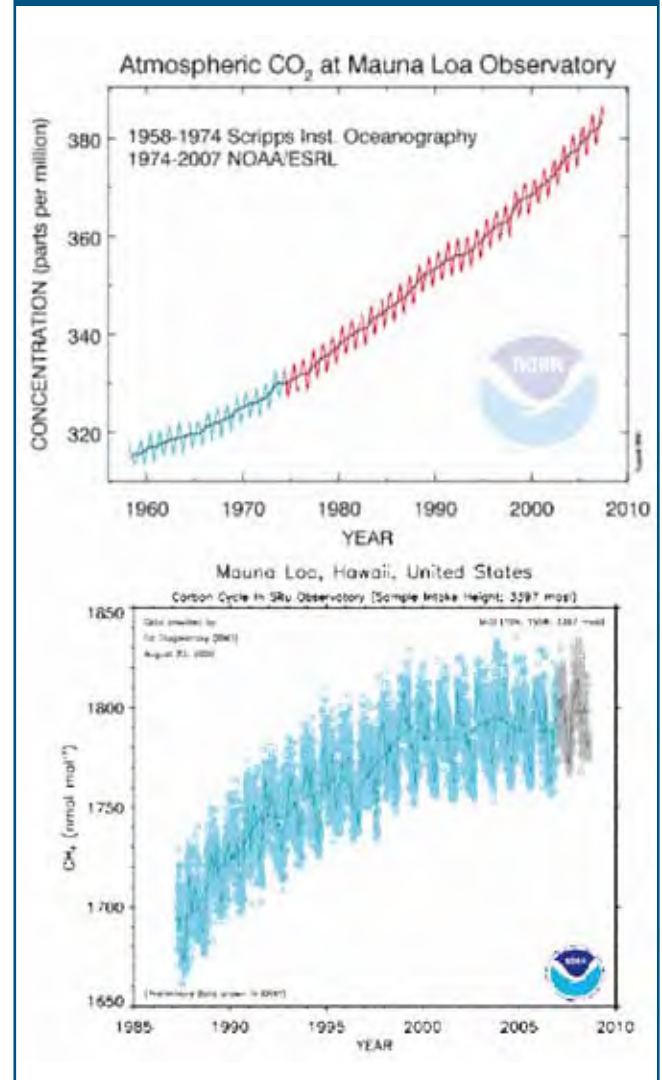
Por simplicidad, para considerar el efecto combinado de todos los distintos gases de efecto invernadero se considera su concentración y su efectividad relativa con respecto al  $\text{CO}_2$ , para establecer una concentración equivalente de  $\text{CO}_2$ , como si este gas fuera el único con este efecto.

## El balance energético del planeta

Todos los objetos del universo radian energía hacia el exterior a menos que se encuentren a una temperatura

de cero absoluto ( $-273^\circ\text{C}$ ). La cantidad de energía que emiten, pero más importante, la longitud de onda a la que el pico de esta energía emitida se encuentra, dependen de la temperatura a la que se encuentran. A mayor temperatura más energía y menor longitud de onda (o mayor frecuencia de las ondas electromagnéticas que la forman). Recuerde que la longitud de onda y la frecuencia no son independientes, sino que están obligadas una a la otra a través de la velocidad de la luz (constante).

Figura 3. Mediciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_4$  en el Observatorio de Mauna Loa, Hawaii (fuente: original)



También es cierto que los cuerpos en el universo absorben energía, misma que proviene usualmente de la emitida por otros cuerpos. De hecho, en gran medida, la temperatura de equilibrio a la que tienden, depende de la



diferencia entre la energía que emiten y la energía que absorben. La luz solar que vemos no es otra cosa que parte de esta energía emitida alrededor de una longitud de onda para la cual nuestros ojos están optimizados (de hecho, para la cual nuestros ojos están diseñados).

Evidentemente el Sol emite energía concentrada alrededor de una longitud de onda muy corta por su alta temperatura. De hecho a esta emisión solar le llamamos radiación de onda corta. La mayor parte de los gases componentes de la atmósfera dejan pasar estas longitudes de onda cortas sin interactuar (absorber) con esta energía, de tal manera que, excepto por la existencia de aerosoles (partículas líquidas o sólidas suspendidas en la atmósfera), gran cantidad de la energía solar que incide sobre la parte superior de la atmósfera de hecho alcanza la superficie terrestre. Al recibir esta energía solar radiada la superficie terrestre la absorbe en gran parte y por ello se calienta, pero alcanzando temperaturas mucho más bajas que las de la superficie del Sol. Es por ello que la emisión de la superficie terrestre hacia el espacio se concentra alrededor de longitudes de onda mucho más largas que las de la radiación solar. De hecho, a esta emisión le llamamos radiación de onda larga. Si no tuviéramos atmósfera o ésta fuera 100% transparente al paso de energía tanto de onda corta como de onda larga, entonces la Tierra tendería rápidamente a una temperatura de equilibrio que resultaría del orden de  $-18^{\circ}\text{C}$  ¿Cómo es que esto ocurriría? Si la energía entrante fuera mayor que la saliente la temperatura se incrementaría hasta que fueran iguales. Pero si la energía saliente fuera mayor que la entrante, la temperatura se reduciría hasta que fueran iguales. El proceso no sería instantáneo, pero tendería hasta esta temperatura de equilibrio.

Pero el caso es que la Tierra sí tiene atmósfera y algunos de sus gases componentes no son completamente transparentes a la radiación de onda larga. Sus moléculas absorben parte de la energía, calentándose. El efecto final, considerando el proceso descrito en la sección anterior, es el de atrapar parte de la energía que sin atmósfera hubiese sido radiada hacia el espacio ¿Hasta cuándo? Hasta que se alcance la nueva temperatura de equilibrio donde la radiación entrante y saliente sean iguales, la que bajo ausencia de actividades humanas productoras de gases de efecto invernadero, resultaría en unos  $+15^{\circ}\text{C}$ . Se ha comprobado que bajo la composición atmosférica de los últimos 8,000 años (excepto por los últimos 500 con

actividad humana intensiva) la temperatura media del planeta se ha mantenido constante en el valor mencionada. Prácticamente el 100% de lo que consideramos el desarrollo del hombre moderno (uno que domina a la naturaleza, más que simplemente vivir en ella) ha ocurrido en este lapso de tiempo.

Pero en los últimos 500 años, con mucho mayor énfasis desde la revolución industrial en los últimos 150 años, la actividad humana ha insertado otro factor en este equilibrio de energía entrante, saliente y temperatura: la producción de una cantidad enorme de gases de invernadero (ver figura 3). El atrapamiento adicional de energía ha cambiado ya la temperatura de equilibrio y el planeta ha empezado ya a mostrar incrementos detectables de temperatura. Aún si, como humanidad, dejáramos mañana de generar gases de efecto invernadero, la temperatura seguiría subiendo por al menos unos 100 años más. Pero seguimos generando GEI y por lo tanto sigue aumentando la que sería la temperatura de equilibrio y, por supuesto, sigue subiendo la temperatura de la atmósfera terrestre, más lentamente la del océano y aún más lentamente la de la corteza terrestre.

En estos momentos, con la comprensión, conocimientos y herramientas de medición y de cálculo con las que contamos, se estima que la temperatura promedio en la atmósfera podría subir del orden de  $+3.5^{\circ}\text{C}$  para el año 2100, aunque considerando la incertidumbre podríamos acotar el incremento al rango de  $+1.5^{\circ}\text{C}$  hasta  $+6.0^{\circ}\text{C}$ . Por supuesto, esto depende parcialmente del comportamiento de la humanidad en lo que resta del siglo.

## ¿Pronósticos o escenarios?

Las herramientas que se utilizan más actualmente para proyectar cómo será la evolución del clima en el siglo XXI son los modelos numéricos de pronóstico climatológico. Son similares a los modelos que actualmente se utilizan para pronóstico meteorológico (típicamente para horizontes de cero a unas 96 horas) en el sentido en que contienen las ecuaciones gobernantes de la fluidodinámica y la termodinámica de la atmósfera y un mecanismo para resolverlas a través de discretizar el dominio en porciones y expresar las ecuaciones como aproximaciones de diferencias finitas.

La combinación convierte un conjunto de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, para el cuál no se

conoce una solución analítica exacta, en un gigantesco sistema de ecuaciones algebraicas simultáneas para el que se conocen numerosos algoritmos de solución numérica. Pero hay diferencias a considerar:

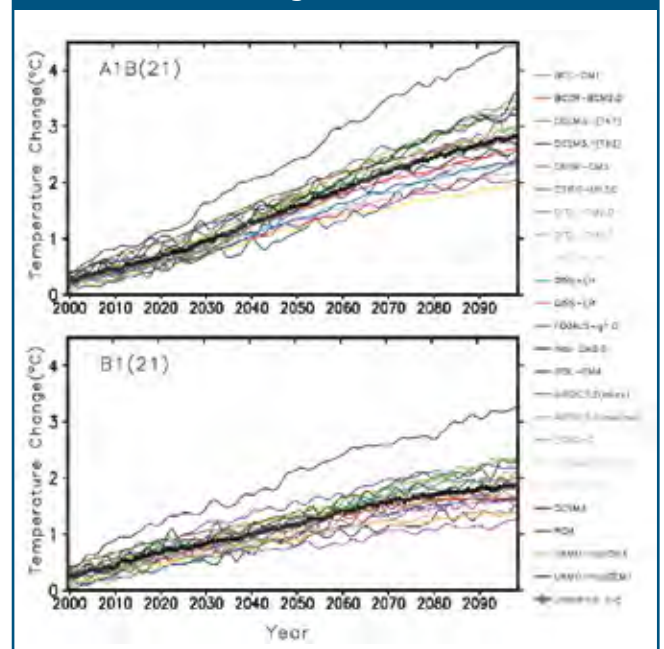
- Los modelos climatológicos hacen mayor énfasis en el balance de energía, que en el balance de cantidad de movimiento, como lo hacen los modelos meteorológicos.
- Los modelos climatológicos modernos no son exclusivamente atmosféricos, sino acoplados atmósfera-oceano, además de contar con módulos de interacción con el hielo-nieve, la superficie terrestre-vegetación, entre otros.
- La estabilidad a largo plazo, medida en años, proviene de la diferente velocidad a la que ocurren los cambios en el océano contra la velocidad a la que ocurren en la atmósfera. Esto permite cálculos estables a decenas de años a futuro, contra solamente el límite actualmente considerado para modelos meteorológicos de unas dos semanas. Después de esto se hacen inestables.
- Son mucho más comunes los modelos climatológicos globales (cuyo dominio es todo el planeta) y todavía poco comunes los modelos locales. En cambio en pronóstico meteorológico, aunque existen modelos globales, los modelos locales (por ejemplo: el MM5, el ETA o el WRF) son muy comunes.
- Los modelos climatológicos no pretenden pronosticar las condiciones detalladas día por día, sino las condiciones promedio (el clima) con oscilaciones y tendencias relativamente suaves en el tiempo.

¿Por qué es entonces que se presenta la idea de que sus resultados son escenarios y no pronósticos como en el caso de los modelos meteorológicos? Básicamente porque se tienen que prescribir las concentraciones de gases de invernadero en la atmósfera para el intervalo que se desea proyectar (digamos 100 años) y estas concentraciones dependerán fuertemente de decisiones que la humanidad haga sobre su uso de energías provenientes de combustibles fósiles y sobre otras muchas actividades humanas que producen GEI. Dado que la evolución de estas concentraciones se establecen como escenarios y no como pronósticos, entonces los resultados de las corridas también son escenarios bajo la hipótesis de que las concentraciones de GEI prescritas en efecto se darán. Originalmente se estandarizaron algunas hipótesis simplistas,

como la de que la concentración equivalente de CO<sub>2</sub> llegaría a duplicarse con un crecimiento anual de 1% y luego se estabilizaría. Pero hoy en día el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (ampliamente conocido como el IPCC por sus siglas en inglés) ha desarrollado escenarios de concentración equivalente de CO<sub>2</sub> bastante más complejos que dependen de modelos económico-sociales sobre el comportamiento de la humanidad al respecto. Por supuesto, para cada escenario de evolución de la concentración equivalente de CO<sub>2</sub> se obtienen diferentes resultados sobre cambio climático.

Pero, a pesar de que todos los más de 20 modelos climáticos globales sancionados por el IPCC pretenden estar modelando una única realidad, el hecho es que el tema está suficientemente inmaduro como para que cada uno de los modelos dé diferentes resultados, aún bajo el mismo escenario de evolución de concentración de CO<sub>2</sub>. ¿Pero si es así, por qué se tiene confianza en los resultados de los modelos, al menos a nivel del promedio global?

**Figura 4. Evolución del cambio en la temperatura superficial del aire proyectada, promedio global, por 21 modelos distintos para dos escenarios (A1B y B1) moderados del IPCC (Fuente: IPCC, 2007, Fig.10.5)**



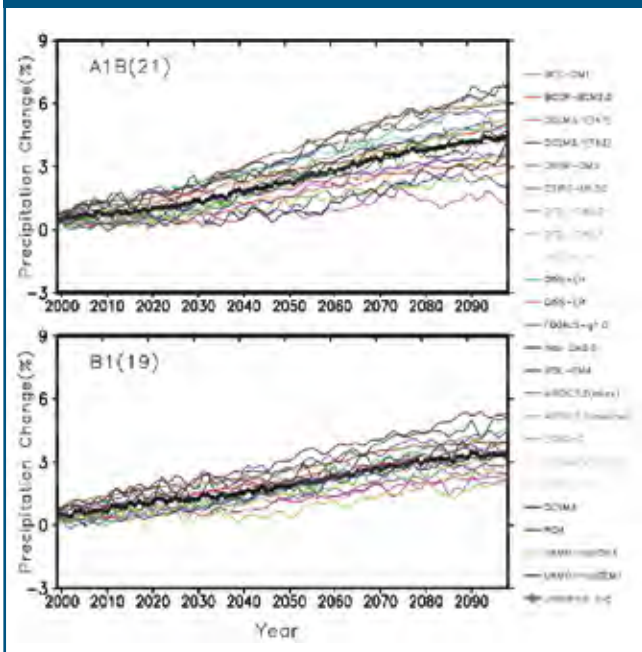
Fundamentalmente porque no se establece el cambio climático por sus resultados absolutos, sino por los resultados relativos entre dos corridas distintas: la primera es

de referencia dejando la concentración equivalente de CO<sub>2</sub> igual a la actual; la segunda es la corrida ya con el escenario de evolución de concentración de CO<sub>2</sub> seleccionado. Es la diferencia entre los resultados de estas dos corridas la que establece el cambio climático proyectado para el siglo XXI.

En la **figura 4** se muestran resultados de cambio climático de algunos de los modelos globales sancionados por el IPCC, como promedio a nivel global, esto para la temperatura del aire en la superficie y para dos de los escenarios del IPCC moderados (no extremos ni en término de crecimiento de la concentración equivalente de CO<sub>2</sub> o de mantenimiento de la actual concentración equivalente de CO<sub>2</sub> actual, para 21 modelos distintos y para su ensamble.

En la **figura 5** se muestra lo correspondiente pero para la variable de precipitación pluvial promedio global.

**Figura 5. Evolución del cambio en la precipitación promedio global proyectada por 21 y 19 modelos distintos para dos escenarios (A1B y B1) moderados del IPCC (Fuente: IPCC, 2007, Fig.10.5)**



### La incertidumbre en el CCG

Las dos figuras previas muestran:

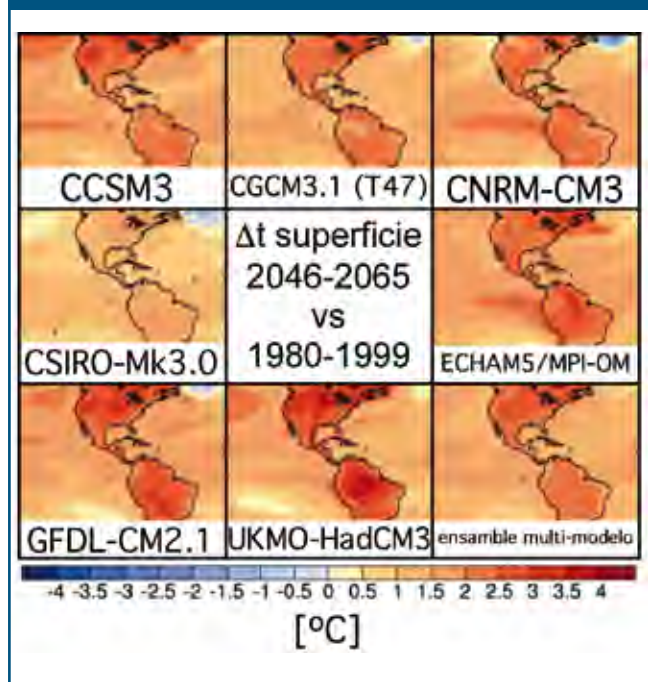
1. Que todos los modelos, al menos en los dos escenarios seleccionados, proyectan incrementos en la

temperatura del aire sobre la superficie como promedio global.

2. Que todos los modelos, al menos en los dos escenarios seleccionados, proyectan incrementos en la precipitación pluvial promedio global.
3. Que existen diferencias importantes en las proyecciones que los diferentes modelos hacen en ambas variables y van de 2.0°C a 4.0°C como incremento de temperatura en el escenario A1B y del 1.2°C a 2.3°C para el escenario B1, en ambos casos al 2100. En cuanto precipitación pluvial los modelos proyectan incrementos del 1.0% al 7.0% en el escenario A1B e incrementos del 2.0% al 5.0% en el escenario B1.

Podríamos concluir que no existe ya mucha incertidumbre sobre el hecho de que el cambio climático global se va a presentar, pero sí existe incertidumbre en el valor preciso de incremento que se va a presentar.

**Figura 6. Comparación de incrementos proyectados por ocho modelos globales y el ensamble para la temperatura del aire en la superficie en la vecindad de México con un horizonte del orden de 50 años**

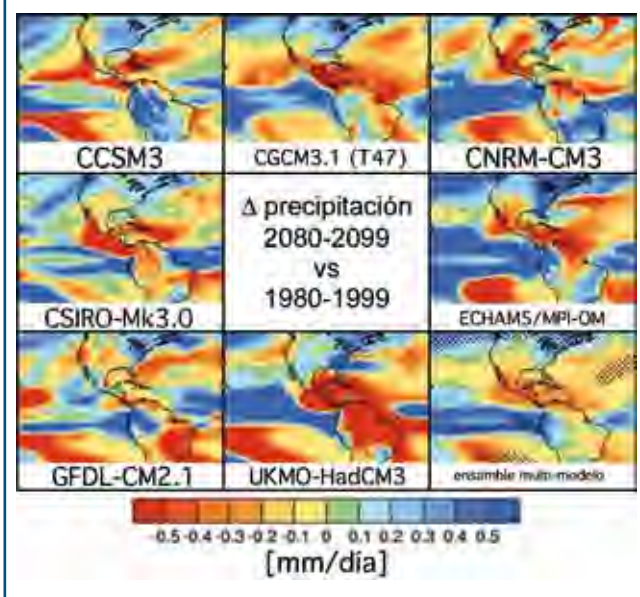


Pero esto es solo parte del problema. El hecho es que las gráficas mostradas presenta sólo el comportamiento esperado como promedio en todo el planeta ¿Qué hay de la distribución geográfica de los cambios esperados?

¿Es que en todo el planeta los incrementos mostrados serán uniformes? Los propios modelos nos muestran que los cambios no serán uniformes y existen importantes diferencias entre los comportamientos proyectados para diversas regiones. Para mostrar esto hemos “recortado” la región alrededor de México para los mapas de varios (ocho) modelos (por supuesto no los 21) colocándolos uno al lado del otro con un gama de colores uniforme entre ellos. Además se comparan con un noveno caso que es el ensamble de todos los modelos. Esto no se presenta para todos los instantes a lo largo del siglo XXI, sino solamente para el promedio de 2046 a 2065 en el caso de temperatura y para el promedio de 2080 a 2099 para el caso de precipitación, en ambos casos los incrementos o decrementos expresados contra sus valores promedio de 1980 a 1999 y solamente para el escenario A1B.

En la [figura 6](#) se hace la comparación para el cambio de temperatura del aire en la superficie. En la [figura 7](#) la comparación es para el cambio en la precipitación pluvial.

**Figura 7. Comparación de cambios proyectados por ocho modelos globales y el ensamble para la precipitación pluvial en la vecindad de México con un horizonte del orden de 100 años**



Resultados más detallados pueden ser consultados en IPCC (2007 a, b y c), fuente de donde se obtuvieron los que aquí se muestran. Una discusión detallada de sus semejanzas y diferencias está fuera del alcance de este manual, pero puede observarse que:

- La temperatura del aire en superficie se incrementa sobre México para todos los modelos entre +1°C y +3°C (en 50 años).
- La precipitación, en general, disminuye sobre México entre -0.1 mm/día y -0.5 mm/día (-36 a -180 mm/año) a horizontes de 100 años.
- Los modelos muestran diferencias importantes entre sí, sobre todo en cuanto a la precipitación, existiendo modelos que en ciertas zonas inclusive indican incrementos de lluvia moderados.
- El grado de detalle sobre el territorio nacional es muy limitado debido al carácter global de los modelos.
- No se observa con claridad que la topografía mexicana y su interacción con aguas marinas de ambos lados tengan alguna influencia en estos modelos globales.
- Se estima difícil tomar decisiones duras en términos de estos resultados con rangos de incertidumbre relativamente amplios y, sobre todo, con la falta de detalle geográfico que uno requeriría.

Precisamente sobre el último punto trata la siguiente sección.

Debe observarse que a nivel local en México los resultados en cuanto a temperatura superficial del aire coinciden con las tendencias globales que se observaron en la [figura 4](#) pero en términos de precipitación pluvial la tendencia sobre México resulta opuesta a la global mostrada en la [figura 5](#).

### Posibles manifestaciones locales del cambio climático global

Como se mencionó en la sección anterior, los modelos globales tienen muy baja resolución para poder considerar en detalle muchos factores que resultan importantes en el clima local y, por lo mismo, potencialmente también en la manifestación local del cambio climático global: la orografía, la configuración de la costa, la extensión de la plataforma marina, entre otros.

Es por ello que resulta deseable buscar darle mayor detalle a estos resultados, o “escalarlos hacia abajo” (*downscaling* en inglés), a través de dos métodos:

1. Método estadístico.
2. Método dinámico (numérico).

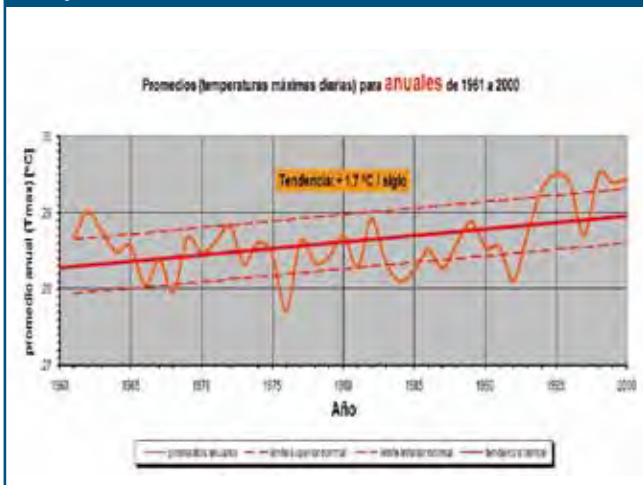


En el primer caso, para un intervalo relativamente largo de tiempo (varios años) con mediciones simultáneas a las salidas del modelo global seleccionado, se obtienen los detalles encontrando relaciones que describen el campo detallado de la variable (medida) a partir del campo burdo de la variable (simulada numéricamente).

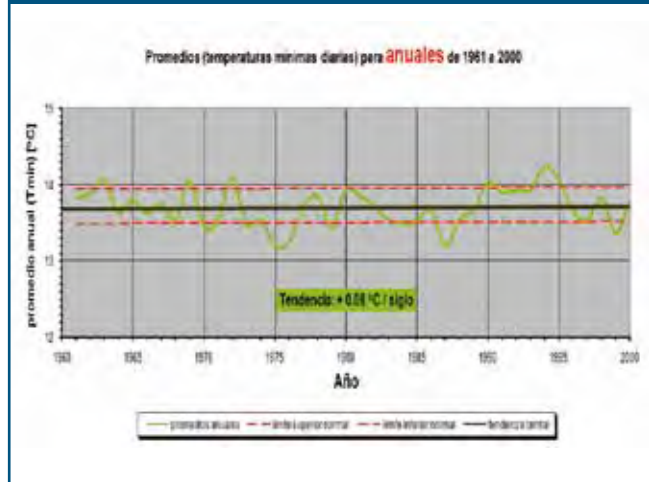
Con estas relaciones, después se procede a detallar las corridas numéricas del intervalo proyectado hacia el futuro. La hipótesis evidente es que estas relaciones encontradas seguirán siendo válidas bajo condiciones de un clima cambiante.

En el segundo caso se usa una combinación de modelos numéricos, el global que produce los resultados que ya hemos visto y otro modelo local (o de mesoescala) que teniendo la física de la atmósfera puede manejar adecuadamente los detalles de orografía, configuración de la costa, entre otros. El modelo global brinda condiciones iniciales y de frontera al modelo local, en forma similar a como se corren los modelos de pronóstico numérico de mesoescala actuales (ver <http://smn.cna.gob.mx>). Es curioso que el modelo local no requiere ser un modelo especializado en la reproducción del clima, puede ser un modelo meteorológico. Esto se debe a que nunca será corrido más allá de su límite de estabilidad, típicamente solo un  $\Delta t$  entre disponibilidad de salidas del modelo global (por ejemplo: seis horas). Visto de otra manera, el modelo local nunca se corre en modo de pronóstico, sino prácticamente casi de diagnóstico. Por supuesto, también es necesario realizar un proceso de calibración con datos medidos históricos.

**Figura 8. Tendencia promedio nacional en la temperatura máxima diaria: +1.7°C/siglo**



**Figura 9. Tendencia promedio nacional en la temperatura mínima diaria: +0.08°C/siglo**



Obsérvese que por cada elemento de los conjuntos de {modelo global}, {modelo local} y {escenario} se requieren realizar corridas para simular en detalle, digamos los 100 años del siglo XXI. Es por este fuerte requerimiento de poder de cómputo que en México todavía no se cuenta con salidas completas y continuas de *downscaling* numérico y aún el de tipo estadístico presenta poca disponibilidad de proyecciones a futuro. Pero varias instituciones se encuentran trabajando en este tema actualmente.

**Figura 10. Tendencia promedio nacional en la precipitación anual: -71.0 mm/siglo equivalente a -9.5%/siglo**



¿Existe alguna alternativa útil? Alguna puede ser la de analizar las tendencias observadas en el clima en el pasado y extrapolarlas hacia el futuro. En este contexto el SMN de México, utilizando como fuente la base de datos MAYA v1.0 (ver Apéndice 1.2.5), realizó uno de estos análisis de tendencias para tres de las variables medidas: temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y



precipitación pluvial diaria. Se identificaron las tendencias lineales que presentaban cada uno de los 4,542 nodos sobre el territorio nacional. A nivel de promedio nacional, las tendencias resultantes se muestran en la [figura 8](#) para la temperatura máxima diaria, en la [figura 9](#) para la temperatura mínima diaria y en la [figura 10](#) para la precipitación pluvial.

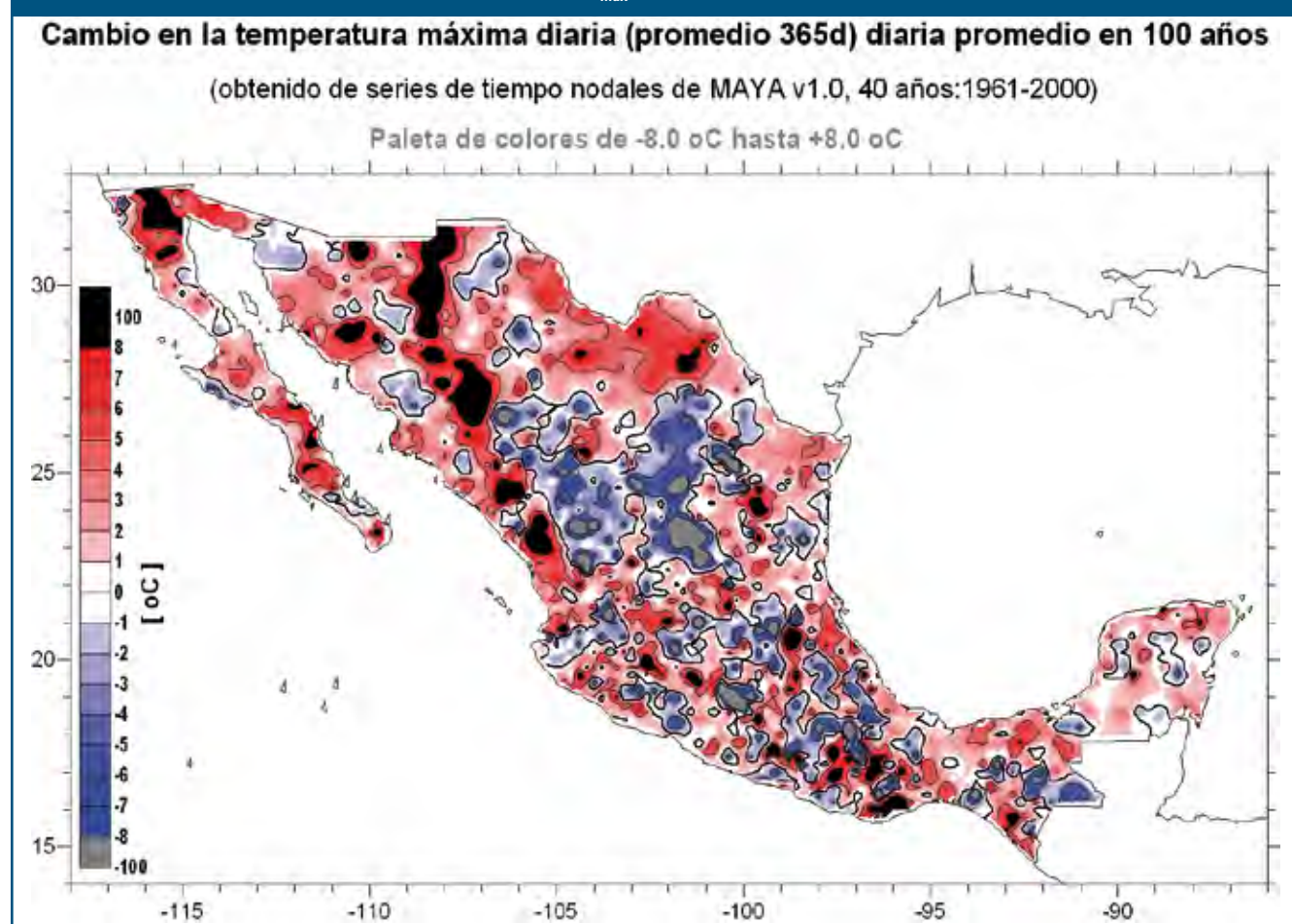
Resulta interesante identificar que la tendencia mostrada por la temperatura máxima diaria (+1.7°C/siglo) es congruente con los resultados globales que se presentaron en la [figura 4](#), pero que la tendencia mostrada en la temperatura mínima diaria (casi nula), no lo es. Bajo la burda hipótesis de que la temperatura promedio diaria sea el simple promedio aritmético de la máxima y la mínima, los resultados obtenidos para México del intervalo histórico 1961-2000 estarían en el borde inferior de los resultados proyectados por los modelos sancionados por el IPCC como promedio global. Esto también resulta congruente

con el hecho de que los modelos globales proyectan mayores incrementos de temperatura para latitudes mayores y menores para latitudes bajas como la de México.

En el caso de la precipitación pluvial anual, el resultado de la tendencia histórica en México (-71 mm/siglo) es opuesto al que proyectan los modelos globales para el planeta completo (ver [figura 5](#)) pero congruente con la distribución espacial del cambio en esta variable que se muestra en la [figura 7](#) que aproximadamente de -36 a -180 mm por siglo.

Pero así como diversas regiones del planeta muestran diferencias entre sí, el grado de uniformidad esperada sobre el territorio nacional no sería de ninguna manera similar al que se muestra en la [figuras 4](#), y [5](#). Dado que las tendencias se obtuvieron para miles de nodos sobre el territorio nacional, los resultados mostrados como promedio nacional se pueden plasmar también en mapas que muestran su distribución geográfica. Así, para la

**Figura 11. Distribución espacial de la tendencia en  $T_{max}$  observada de 1961 a 2000.**



tendencia en la temperatura máxima diaria se presenta el mapa en la [figura 11](#) para la tendencia en la temperatura mínima diaria el mapa en la [figura 12](#) y para la tendencia en precipitación pluvial el mapa en la [figura 13](#).

En la [figura 10](#) se observa un complejo patrón de sitios que muestran tendencia hacia la alza en la  $T_{max}$  (en colores rojos) y sitios que muestran tendencia hacia la baja en la  $T_{max}$  (en colores azules), pero en general se observa dominancia de zonas que muestran calentamiento en el noroeste del país, sobre la Sierra Madre Occidental, la frontera con los EUA, la Península de Yucatán y las planicies costeras del sur del Golfo de México. Dominan tendencias al enfriamiento una zona al centro del Altiplano Central, la costa del Pacífico Sur. El patrón alrededor de las grandes ciudades alrededor del Valle de México resulta alternado.

En el caso de la  $T_{min}$  en la [figura 11](#) se identifican zonas mucho más reducidas con tendencia al calentamiento,

sobre todo sobre la Sierra Madre Occidental y el norte de Chihuahua así como el extremo noroeste del país y una zona de menor intensidad al sur del Golfo de México. Zonas en las que domina el enfriamiento son la Península de Yucatán, el valle central en Chiapas, el centro-occidente del país y nuevamente una zona amplia al centro del Altiplano.

En cuanto a la precipitación pluvial ([ver figura 12](#)) se observa una concentración de tendencia hacia la baja (tonos hacia cafés y arenas) hacia el norte del paralelo 19°, con excepciones notables al sur de la Península de Baja California, la mayor parte de Sonora y el extremo norte de Coahuila. Hacia el sur y este del paralelo mencionado domina la tendencia hacia la alza (tonos de verdes hacia azules), incluyendo a la Península de Yucatán, en esta caso siendo la excepción el norte de Chiapas y Tabasco. Las zonas que muestran tendencias positivas en la lluvia sugieren que se estudie la posibilidad de que

**Figura 12. Distribución espacial de la tendencia de  $T_{min}$  observada desde 1961 a 2000**

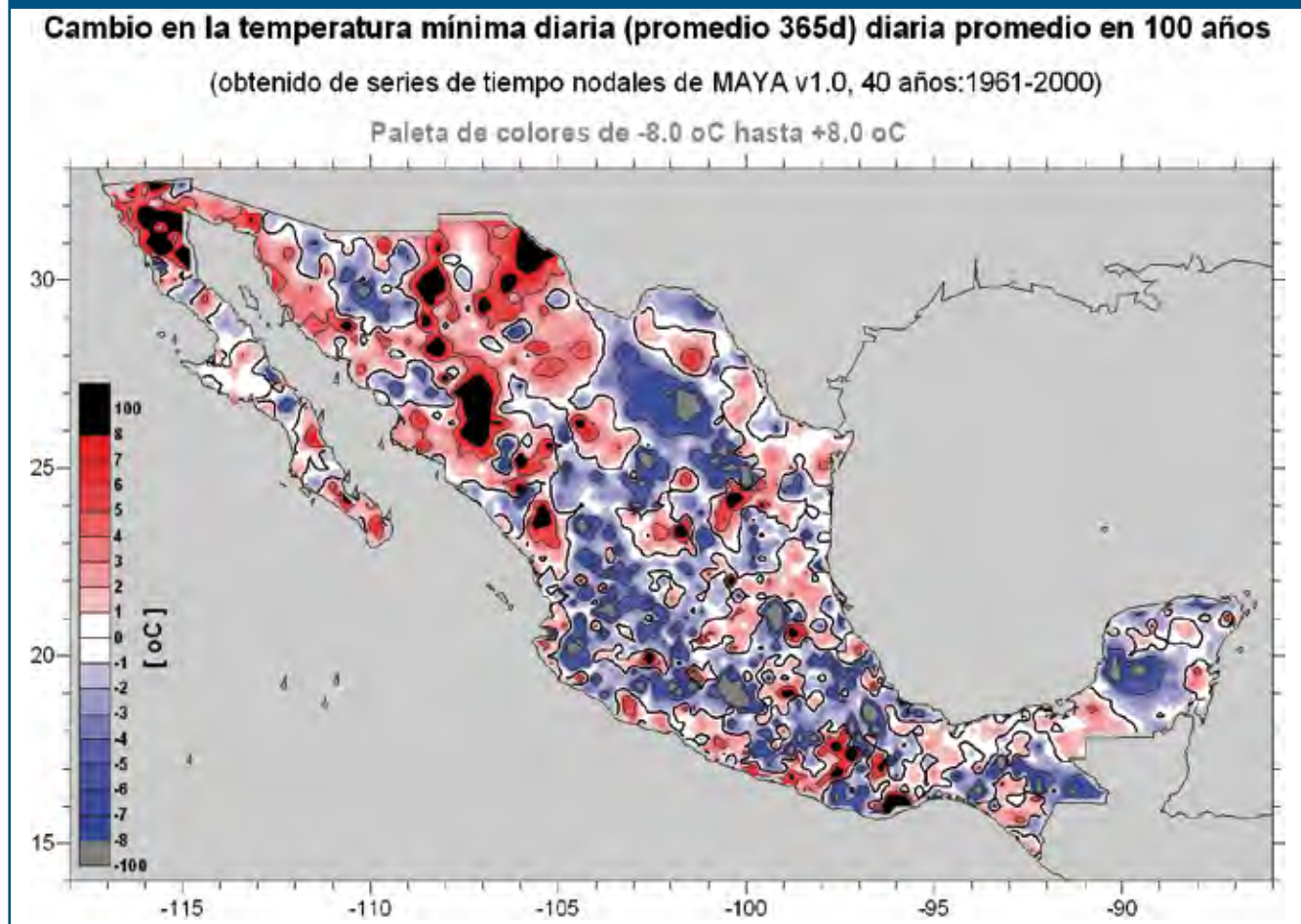
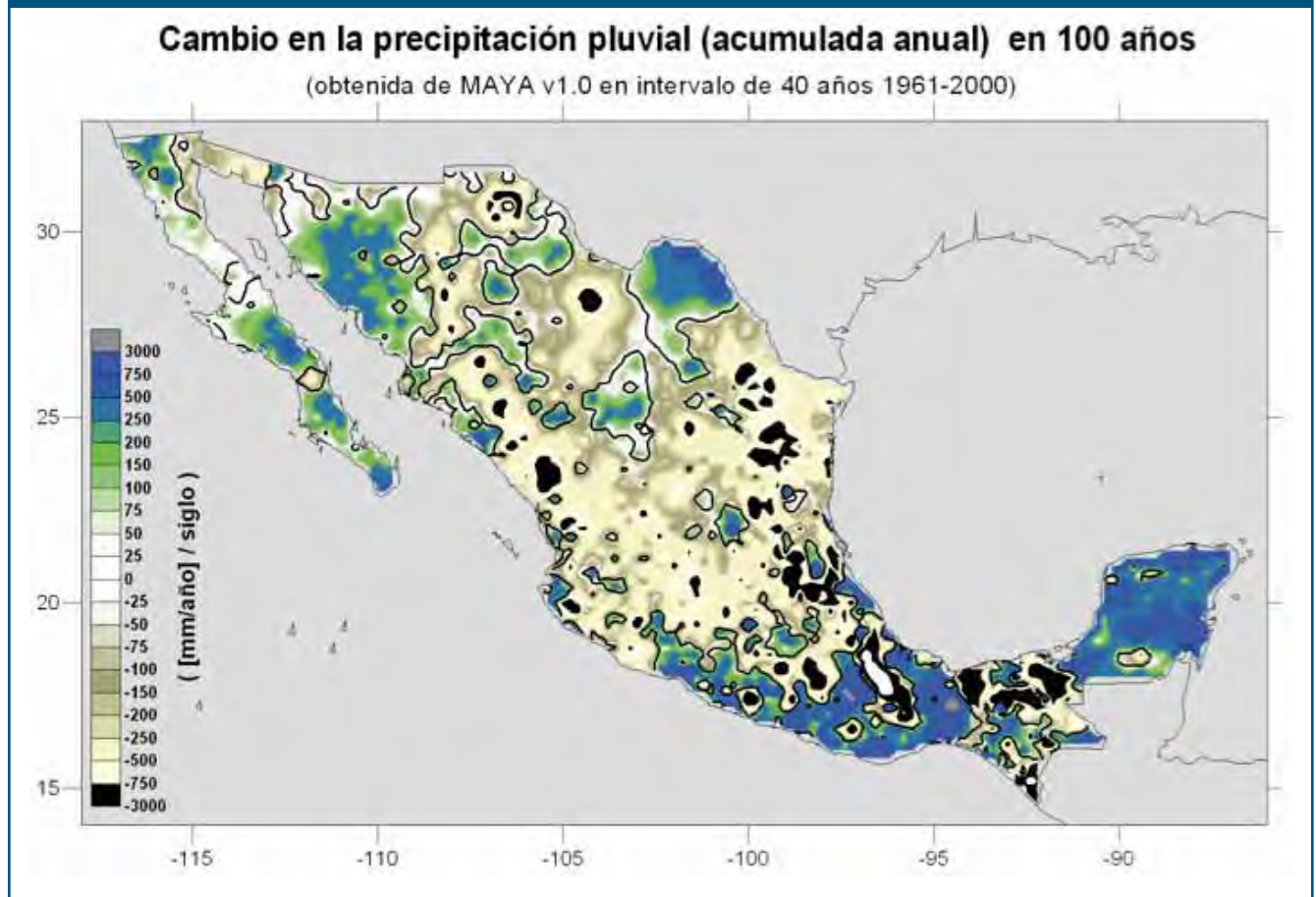


Figura 13. Distribución espacial de la tendencia de precipitación observada desde 1961 a 2000



esta tendencia se deba a un incremento en el número o capacidad de generación de lluvia de los ciclones tropicales, la mayor frecuencia de ondas tropicales y/o la posible extensión del corredor de tormentas severas de primavera en los EUA hacia el norte de Coahuila.

Es importante puntualizar que en los mapas empíricos mostrados en las figuras 10, 11 y 12; no se puede hacer adjudicación exclusiva al cambio climático global por incremento de la concentración de los GEI en la atmósfera; pudieran resultar importantes cambios locales producidos por urbanización, deforestación y/o cambio de uso del suelo. Tampoco se puede confiar en el hecho de que la tendencia observada entre los años 1961-2000 se pueda extrapolar simplemente hacia el comportamiento proyectado a futuro, ni que dichas tendencias observadas no sean parte de oscilaciones con periodos muy largos (del orden de 100 años o más).

### Posibles efectos en el ciclo hidrológico del cambio climático global

En general cuando el público en general piensa en cambio climático (o alternativamente calentamiento global) piensa, naturalmente, en un incremento de la temperatura y sus consecuencias inmediatas (mayor frecuencia de ondas de calor, derretimiento de los mantos de hielo sobre la superficie terrestre, incremento del nivel del mar por expansión térmica, entre otros). Pero usualmente no piensa en cambios sobre otras variables en el clima. En el caso que ocupa a este manual, los cambios sobre la variable precipitación pluvial, sobre todo aquellos que pueden modificar las condiciones con las cuales las medidas del programa de control de inundaciones fue diseñado. Esto se debe a que el diseño de las medidas se realiza con datos históricos y si las estadísticas de estos datos históricos están cambiando en el tiempo, las condiciones para las que será



suficiente una cierta medida de control de inundaciones también cambia.

Por ejemplo: es posible que aunque para condiciones invariantes del clima una de las medidas sea efectiva contra avenidas de un cierto periodo de retorno, bajo las condiciones cambiantes este periodo de retorno aumenta o, peor aún, disminuya. Es por ello que, hasta donde el conocimiento actual lo permite, debemos considerar los posibles cambios en el clima dentro de las condiciones de diseño de nuestras medidas de control de inundaciones. Veamos algunos ejemplos de lo más simple, hacia lo más complejo.

Es posible que, simplemente, la cantidad total de precipitación pluvial en la cuenca aumente, manteniendo su distribución previa a lo largo del año. En este caso es probable que la medida para control de inundaciones en cuestión resulte tener en el futuro un periodo de retorno moderadamente menor al nominal cuando fue diseñada, esto es, que en lugar de alcanzar o rebasar su capacidad cada "n" años, en el futuro lo haga cada "m" años, donde  $m < n$ . Esto ocurriría, por ejemplo: si dicha medida fuera una presa que tiene un cierto volumen reservado para control de avenidas. Si llueve más, el vaso de la presa se llenará más rápido a lo largo del año, su capacidad de control de avenidas se utilizará más frecuentemente, y su máximo será rebasado con mayor frecuencia.

Tratando de mantener las hipótesis tan simples como sea posible, imaginemos que la lámina total de lluvias anual se mantiene constante pero que, por cambio climático, dicha lámina se concentra ahora en un número menor de meses del año (digamos se reduce de un intervalo de cinco meses a un intervalo de tan solo 3.5 meses), nuevamente la medida de control de inundaciones podría ser rebasada con mayor frecuencia.

Pensemos nuevamente en la presa, si su capacidad de almacenamiento para otros usos fue diseñado para una temporada de lluvias de cinco meses (y la política de operación de uso de dicho volumen de agua se planeó para dicha temporada de lluvias de cinco meses de duración) y ahora ocurre en tan solo 3.5 meses, entonces la lámina promedio mensual será mayor y la misma política de operación original podría producir que el volumen de control de inundaciones se utilizara más frecuentemente y que también fuera rebasado más frecuentemente.

En los dos casos anteriores se puede compensar el efecto del cambio climático cambiando la política de

operación de la presa, pero a cambio de reducir el volumen de almacenamiento para otros usos de tal manera de poder aumentar el volumen reservado para control de inundaciones.

Pero vayamos más allá, supongamos que la lámina acumulada anual se mantiene y que el intervalo de la temporada de lluvias también se mantiene ¿Qué pasaría si el cambio climático produjera un cambio de régimen de la tormenta típica hacia tormentas más intensas y de menor duración de lo que eran antes? Por un lado, el solo incremento en la intensidad haría que el volumen de la tormenta se concentrara en el cauce en un tiempo menor, y eso ya produciría una avenida con un gasto pico mayor, aunque una avenida de menor duración. Ciertamente la medida de control de inundaciones se podría hacer menos efectiva que bajo las condiciones de diseño. Pero por otro lado el coeficiente de escurrimiento (la fracción del agua precipitada que termina como escurrimiento) aumentaría y esto también produciría un gasto pico mayor (aunque no necesariamente una avenida de menor duración). Este mismo incremento en la intensidad produciría mayor probabilidad de erosiones, mayor producción de sedimentos y mayor probabilidad de que estos interfirieran con la efectividad de la medida en un menor tiempo.

¿Qué otros cambios podrían interferir con el funcionamiento de la medida de control de inundaciones que diseñamos e implementamos? Por ejemplo: un deslizamiento en el tiempo, adelantándose o atrasándose, de la temporada de lluvias, una diferente distribución de la lluvia entre lluvias de verano y lluvias de invierno, un cambio en la accesibilidad que fenómenos productores de lluvia tienen a la cuenca en cuestión, un cambio en la frecuencia y/o intensidad de estos fenómenos, un cambio en la cobertura vegetal del terreno que cambiara tanto el coeficiente de escurrimiento como la generación de sedimentos por erosión, entre otros.

También podría ocurrir que el cuerpo natural de agua al que descarga el río en cuestión se encontrara en promedio más lleno o que se encontrara lleno más frecuentemente, abriendo la posibilidad de generar remansos mayores que pudieran reducir la seguridad de nuestras medidas (por ejemplo: con un nivel incrementado del mar que redujera la capacidad de conducción original del cauce y hasta una sedimentación distinta en su desembocadura). Casi de seguro, no será uno solo el cambio, sino una combinación de varios de ellos. Ni siquiera podríamos asegurar que los

cambios fueran monotónicos (siempre en la misma dirección) a lo largo de las décadas. Se dice, por indicadores de la intensidad de recirculación del agua precipitada a la atmósfera, que la variabilidad de las precipitaciones será mayor y esto implica que el umbral de seguridad de diseño puede terminar siendo rebasado más frecuentemente.

¿Qué podemos hacer al respecto? Pues idealmente considerar este posible cambio climático en el diseño de las medidas de control de inundaciones. Pero esto no es fácil bajo el nivel de conocimiento que ahora tenemos a nivel local. A falta de esto, podemos hacer un mayor esfuerzo en que los diseños sean “robustos”, es decir que se comporten razonablemente bien y no de manera catastrófica aún bajo condiciones que rebasan su umbral de diseño. También se pueden considerar en el programa modificaciones a medidas ya implementadas o adición de otras medidas para mantener el periodo de retorno de diseño conforme el clima vaya cambiando. Y enfatizar el mantenimiento adecuado de las medidas inicialmente tomadas.

No se intenta transmitir al lector una visión catastrófica, ya que no necesariamente los cambios producidos por el clima irán en la dirección de hacer nuestras medidas de control de inundaciones menos efectivas; pueden perfectamente modificar el medio en el sentido contrario, en cuyo caso quizá terminemos concluyendo que, en su momento, hicimos inversiones superiores a las que hubiesen sido estrictamente necesarias. Pero en general, la incertidumbre es un enemigo en la ingeniería, en la protección civil y en la prevención de desastres; y tener un clima cambiante aumenta la incertidumbre con respecto a tener un clima constante.

## **Incremento del peligro vs incremento de la vulnerabilidad-exposición**

Resulta importante colocar al fenómeno del cambio climático global y lo que se dice con respecto a que aumentará la magnitud y frecuencia de las amenazas hidrometeorológicas, en el contexto de lo que de todas formas está ocurriendo, sobre todo en países en vías de desarrollo. La verdad es que, aunque no se puede descartar el hecho de que algunos de los fenómenos hidrometeorológicos pudieran hacerse más intensos, más frecuentes y/o más duraderos, el hecho es que es uno de los efectos del cambio climático global sobre el que se tiene mayor

incertidumbre. Y bajo esta incertidumbre es que tenemos que compararlos con prácticamente el 100% de certeza de que la vulnerabilidad y la exposición ante los fenómenos hidrometeorológicos extremos está aumentando, y a tasas que podrían fácilmente rebasar los incrementos al peligro por cambio climático, con el resultado equivalente de aumentar el riesgo.

Esto se debe a que existe una cierta migración de la población hacia las costas por su disponibilidad de agua, existe una migración de poblaciones rurales hacia áreas urbanas que no las pueden absorber ordenadamente a la velocidad a la que lo hacen, y existe cada vez más una invasión de los cauces de los ríos en su estado natural, incluyendo a sus llanuras de inundación.

Una parte importante de la población, por la gran movilidad poblacional, no tiene experiencias previas con los peligros hidrometeorológicos característicos del lugar y además parece estar perdiendo el más básico de los sentidos: el sentido de supervivencia. Hoy en día existe la percepción de que los gobiernos pueden y deben (como obligación) dar seguridad a la población dondequiera que ésta se asiente. Apenas ocurre una inundación y, como sociedad, buscamos una explicación simple, preferiblemente donde exista un culpable que no sea el afectado mismo, a veces con cara humana o institucional (por ejemplo: los gobiernos), a veces con cara de fenómeno sobre el que el individuo nada puede hacer (como el cambio climático global).

En cierto sentido, el propósito mismo de este manual es el de proteger a la población contra inundaciones de cierta frecuencia, es decir reducir de alguna manera su vulnerabilidad y exposición. Pero, frecuentemente, las presiones socio-político-económicas de nuestra sociedad moderna nos obligan a optar por soluciones que, en realidad, para fenómenos verdaderamente extremos, pueden estar aumentando el riesgo al que está sujeta la sociedad. Y así vamos, pensando en que nos estamos desarrollando, construyendo lentamente el próximo desastre “natural” en la zona.

Aquí, la recomendación natural es preguntarnos qué hubiese sucedido bajo condiciones de un evento extremo dado hace 50 años o hace 20 años cuando no existían las zonas urbanas y de actividad económica que ahora son dañadas rutinariamente. Si la respuesta es que “no hubiera pasado nada” entonces estamos ante un caso en el que debemos pensar con mucho detenimiento si



las medidas que pensamos implantar para el control de avenidas son verdaderamente una solución, o son un simple paliativo para sobrevivir lo que nos falta de la actual administración y, también, si estas mismas medidas no son a la vez promotoras de que la sociedad siga actuando en la dirección de aumentar su riesgo, en lugar de disminuirlo.

## El mito de la ciencia y la tecnología sin aplicaciones prácticas

El segundo gran tema del presente capítulo es el impulso a la ciencia y a la tecnología en el contexto de la elaboración e implementación de programas de control de inundaciones. A estas alturas del manual debe ser evidente para el lector que la ciencia y la tecnología están intrínsecamente involucradas en esta tarea. Si cada núcleo de población de México sujeto a riesgo de inundaciones tuviera un solo especialista en el tema, que no tuviera intereses individuales que favorecieran una de las opciones disponibles sobre las demás, a lo largo del tiempo se implementarían medidas racionales que, dentro de las limitaciones presupuestales, irían en la dirección correcta de reducir el riesgo sobre la población ¿De dónde vendrían dichos especialistas? Pues de universidades, institutos tecnológicos o centros de investigación y desarrollo relativamente locales o, aunque poco común en México, de una autoridad local competente (¿la figura del ingeniero municipal?), podría ser un profesor, un investigador, un operativo o una combinación de ambos.

Evidentemente, en la situación actual de México no estamos cerca de esta circunstancia y, quizá, no nos estamos acercando a ella. Esta opción, aún siendo irrealista, tiene sus riesgos, uno de los cuales es que el profesor y/o investigador y/o operador tendería a proporcionar opiniones sobre la mejor opción que estuvieran más o menos alineadas con su área de especialización. Por ejemplo: un ingeniero civil sin especialización gravitaría hacia las medidas estructurales, un especialista forestal gravitaría hacia la recuperación de la cobertura vegetal y el manejo integral de cuencas, un ingeniero hidráulico quizá hacia los sistemas de alerta temprana, etcétera; el hecho concreto es que la visión panorámica y la objetividad necesaria no saldrán mágicamente de un individuo.

Tiene que ser construida en dicho individuo a través de patrocinar proyectos de investigación, desarrollo tecnológico y/ estudios cuyos términos de referencia lo orientaran hacia la visión planteada. Por supuesto que esto implica más de los tres años que típicamente tienen las administraciones municipales en México y quizá hasta más de los seis años con que cuentan las administraciones estatales. Pero sin un esfuerzo en esta dirección, estaremos condenados a decidir sobre opciones de proyectos que nos presenten compañías privadas *a priori* interesadas en un solo tipo de solución o, alternatively, a restringirnos al sentido común y buen juicio de la autoridad local en turno (que no tiene por qué ser un especialista en el tema). Hoy en día existen opciones de financiamiento que permiten aligerar la carga del costo de estos estudios a la autoridad local, como podrían ser los Fondos Estatales del CONACYT para investigación y desarrollo más básico y el Fondo Nacional de Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) para estudios más aplicados.

Pero existe otro problema presente, íntimamente asociado con el subdesarrollo: la creencia por parte de muchos tomadores de decisiones, que no tienen formación profesional en ciencias o ingeniería (y no tendrían por qué tenerla), de que la ciencia y la tecnología son disciplinas que tienen aplicación dentro de las universidades, institutos tecnológicos y centros de investigación, pero que al final no son muy útiles, por ejemplo: en la elaboración e implementación de programas de control de inundaciones, la creencia de que el instinto y sentido común del propio tomador de decisiones es suficiente para obtener una solución adecuada.

Al fin y al cabo que un bordo es simplemente un amontonamiento más o menos organizado y compactado de tierra y no se necesita un grado universitario para construirlo. Son embargo, ¿de qué altura debe ser este bordo?, ¿qué talud garantiza su estabilidad bajo todas las condiciones?, ¿a qué distancia del eje del cauce produce los máximos beneficios (no solamente en relación beneficio/costo, sino en seguridad y sustentabilidad de la población)?, ¿qué condiciones que aún no se han presentado en el registro histórico son factibles de ocurrir en la cuenca?, ¿qué efectos tendrá aguas arriba y aguas abajo?, ¿cuál será el costo de su mantenimiento durante los próximos 25 años?, ¿cómo se comportará cuando su caudal de diseño sea rebasado?, ¿cuáles son

las tendencias de cambio climático que pudieran afectar el diseño de la obra?, ¿cuáles serán los efectos de la obra en la sensación de seguridad de la población y cómo modificará esto la dinámica de expansión de la mancha urbana?, etcétera. No será fácil para ningún tomador de decisiones contestar a estas y otras muchas preguntas en forma cuantitativa sin tener el apoyo del conocimiento y el entendimiento de los factores científicos y tecnológicos involucrados.

Y si sucumbimos antes las presiones socio-político-económicas que no necesariamente toman en cuenta el riesgo de inundación, ¿no terminaremos con una obra o una medida de control de inundaciones que, a pesar de haber costado una significativa cantidad de dinero, no llena las expectativas de la población, no reduce en forma significativa el riesgo al que está expuesta, y además, esclaviza a la presente administración y quizá a muchas otras administraciones futuras a invertir todos los recursos disponibles en su mantenimiento, eliminando en la práctica la aplicación de nuevas opciones?

Cuidado, la presencia de fundamentos científicos y tecnológicos en las medidas de control de inundaciones que implementemos no garantiza automáticamente su rotundo éxito. Es necesario tomar en cuenta, especialmente en un país con el grado de desarrollo de México, que existen graduaciones en el nivel en el que una persona es experta en un tema.

Si existe un concepto verdaderamente relativo es el de experto, ¿experto con respecto a quién?, ¿el mayor experto en el entorno del comisariado ejidal?, ¿el mayor experto en el municipio?, ¿en el estado?, ¿en el país?, ¿en el planeta?, ¿tiene el evaluador suficiente conocimiento y entendimiento para seleccionar a un experto a la altura de la problemática? Introducir la ciencia y la tecnología en el diseño de las medidas de control de inundaciones en un sitio es una condición necesaria en el éxito de un proyecto, pero de ninguna manera es una condición suficiente. La introducción de un experto en el proceso no exime al tomador de decisiones responsable de comprender los puntos a favor y en contra de cada opción y de cada combinación de opciones, mucho menos lo exime de encontrar mecanismos que permitan operar las medidas y, en su caso, garantizar el mantenimiento de dichas medidas para que cumplan satisfactoriamente su vida útil.

## Ciencia y tecnología en medidas de control de inundaciones

A continuación se enlistan sólo algunas aplicaciones de ciencia y tecnología en el tema de medidas de control de inundaciones:

1. Definición de un ancho de cauce que permita conducir el caudal para el periodo de retorno deseado.
2. Definición de la combinación de distancia entre bordos marginales y el eje del cauce vs altura de bordos que resulten óptimos bajo cierto criterio (por ejemplo: relación beneficio/costo).
3. Definición de posibles lagunas de desbordamiento para almacenar agua del cauce en condiciones extremas.
4. Definición de especies y estrategias para mejorar la cobertura vegetal del terreno de la cuenca.
5. Definición de metodologías para minimizar la erosión hídrica de suelos en zonas agrícolas o ganaderas dentro de la cuenca.
6. Modelaje de los procesos lluvia-escurrimiento y tránsito de avenidas en la cuenca.
7. Definición de tirantes y velocidades de flujo factibles en la zona inundable para diversas condiciones de caudal en el cauce.
8. Modelaje de comportamiento del flujo que ha desbordado un cauce dentro de una zona urbana dada, incluyendo funcionamiento de drenaje pluvial.
9. Monitoreo de humedad del suelo y cobertura vegetal continuo, para estar en posición de seleccionar un coeficiente de escurrimiento en un momento de inminente emergencia.
10. Estudios comparativos entre el verdadero riesgo de inundación y la percepción que de este riesgo tiene la población, así como la evaluación de la disposición a evacuar de la misma.
11. Estudios de estabilización de cauces utilizando materiales locales, naturales, reciclados, ambientalmente amigables, entre otros.
12. Propuesta de mecanismos para minimizar daños materiales en edificaciones inundables cuando ya han sido evacuadas.
13. Identificación de rutas principales y alternativas bajo diversas condiciones emergentes, desde las zonas inundadas a los refugios temporales.

14. Proyecciones de desarrollo poblacional, económico y de requerimientos de zonas urbanizadas a futuro.
15. Monitoreo multifuente de información de la precipitación aguas arriba sobre la cuenca y óptima combinación de las diferentes fuentes.
16. Elaboración de escenarios de cambio climático local con base en modelos globales, escalamientos hacia abajo, tendencias históricas, entre otros; y su impacto sobre medidas de control de inundaciones.

## Mecanismos para promover la ciencia y la tecnología

Si de algo se puede estar seguro, es que los investigadores en instituciones académicas y los profesores universitarios que realizan investigación están constantemente a la cacería de fondos para poder realizar sus investigaciones y equipar sus laboratorios. Y si se identifica alguna intersección entre estos intereses y los estudios o trabajos que se requieren realizar para implementar un programa de control de inundaciones, su financiamiento se convierte en el mejor mecanismo para promover ciencia y tecnología que sea pertinente localmente. Pero, es conveniente tener ciertos cuidados.

Los términos de referencia del estudio a realizar deben ser claros, específicos y realmente estar encaminados hacia la solución del problema que aporta los fondos para financiar los estudios. Los investigadores y profesores ven el mundo de una manera diferente a como la ven los tomadores de decisiones y operativas usuales. Si unos no entienden cómo piensan otros, existe un alto riesgo de que el resultado en forma de un informe final quede guardado en un librero para la eternidad.

Otra forma de promover la ciencia y la tecnología es la de apoyar para que escuelas técnicas o profesionales locales empiecen a formar personal en las áreas que se requieren localmente, y si el mercado local no es suficiente para ameritarlo, crear becas para que los alumnos ya egresados se especialicen en dichos temas de interés local en instituciones foráneas, pero con candados para que regresen al sitio y aporten a la solución de dichos problemas concretos locales. De hecho, indirectamente, este también es un mecanismo para, eventualmente, educar formalmente en el tema a nivel local, siempre que el becado a su regrese se convierta en profesor de la institución de la que egresó.

También puede resultar el apoyar esfuerzos para que el personal gubernamental local sea capacitado por los investigadores-profesores en los temas académico más importantes de los diversos problemas involucrados en el control de inundaciones. En muchas ocasiones es suficiente que adquieran la comprensión conceptual de la problemática sin convertirse en especialistas que puedan calcular obras, o que puedan implementar un serio programa de reforestación, pues para estas tareas se pueden contratar especialistas ya formados por tiempo limitado.

Pero resulta importante aceptar que el sector académico y de investigación no está alabrado para trabajos emergentes, de gran intensidad y corta duración. Por lo que el mejor momento para engranar a este sector es cuando las medidas están en etapa de proyección futura, de planeación o de estudio de factibilidad. De otra manera existirá una incompatibilidad entre los tiempos disponibles y los más afines a los que los asociados a la ciencia y tecnología le pueden dedicar.

## Conclusión

Considerar los efectos del cambio climático global en la selección, diseño e implementación de medidas de control de inundaciones no es una tarea fácil, básicamente porque el grado de detalle y de certidumbre sobre los cambios que podría provocar en las variables involucradas, para el problema local, es aún hoy en día insuficiente.

Pero es importante considerar sus posibles efectos en las medidas de control de inundaciones, al menos desde el punto de vista de que estas resulten robustas, es decir, que se comporten de manera no catastrófica aún para caudales que rebasen al de diseño de dichas medidas. Otro factor que puede ayudar, es el que desde el principio, las medidas sean extensibles o ampliables bajo condiciones no previstas del clima de caudales en el río en el futuro.

La introducción del conocimiento científico y tecnológico formal en la solución de problemas como el control de inundaciones, resulta de gran importancia. Aunque el tomador de decisiones al seleccionar, diseñar e implementar una o varias medidas coordinadas de control de inundaciones, prevea ampliamente todas las implicaciones de las emergencias, inadvertidamente podría estar perjudicando a los habitantes, en el momento de la

inundación o a futuro. Los mecanismos para introducir este conocimiento científico y tecnológico en el problema existen, pero usualmente no son implementables en forma instantánea o a muy corto plazo.

Tener una visión de planeación a corto plazo en estos casos podría hacer imposible involucrar a los expertos requeridos. Los tomadores de decisiones deben mostrar una saludable dosis de incredulidad sobre las soluciones que le son presentadas por compañías privadas que no cubren el ámbito total de los temas que la solución del problema requiere. La simple lectura de este manual puede mejorar la condición del tomador de decisiones para juzgar distintas opciones, distintos niveles o grados de cada opción, o distintas alternativas. Quizá no pueda contestar correctamente a las preguntas requeridas, pero al menos podrá plantear estas preguntas correctas.

vidson, O; Bosch, P; Dave, R; Meyer, L. (directores de publicación)]. Ginebra, Suiza, 122 pp.

## Referencias bibliográficas

- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de publicación)]. Ginebra, Suiza, 104 pp.
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Bases de las ciencias físicas. Contribución del Grupos de trabajo I al Cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Solomon, S; Dahe, Q; Manning, M; Marquis, M; Averyt, K; Tignor, M; Miller, H; Zhenlin, Ch; (directores de publicación)]. Ginebra, Suiza, 164 pp.
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Impacto, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de trabajo II al Cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Parry, M; Canziani, O; Palutikof, J; Vander Linden, P; Hanson, C. (directores de publicación)]. Ginebra, Suiza, 68 pp.
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo III al Cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Metz, B; Da-

## 4.12 Ciclones tropicales

### Introducción

¿Por qué incluir el tema sobre ciclones tropicales en un manual sobre control de inundaciones? Porque los ciclones tropicales son, en general, los fenómenos hidrometeorológicos que mayores volúmenes de lluvia producen en México y, por lo tanto, son de los principales candidatos para producir inundaciones. De hecho, México es uno de los países del mundo que mayor incidencia de ciclones tropicales tiene.

Por supuesto, los análisis que se han propuesto a lo largo de este manual se realizan para una muestra de precipitaciones pluviales y/o caudales sin diferenciar si los mismos fueron producidos por un ciclón tropical o por otro tipo de fenómeno hidrometeorológico. En este sentido la incidencia de ciclones tropicales en términos de su precipitación y caudal ya está considerada en dichos análisis. Pero siendo el fenómeno de mayor peligro en una gran parte de México, se considera importante presentar sus particularidades en forma separada.

### Generalidades

Un ciclón tropical es una especie específica de tormenta que se genera sobre los océanos tropicales del planeta, pero que ya formada se puede trasladar temporalmente sobre océanos extratropicales e inclusive sobre los continentes. Se trata de un flujo de viento relativamente (axi)simétrico característico alrededor de un centro de muy baja presión. Un flujo "ciclónico" en superficie es giratorio en sentido contrario a las manecillas del reloj (visto desde el espacio) en el hemisferio norte del planeta, y en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio sur. No todos los ciclones son del tipo tropical; los ciclones de latitudes medias son de mayor extensión geográfica, no son simétricos y además son el ancla de muchos de los frentes fríos que afectan a México durante la época invernal. La importancia de los ciclones tropicales es tal, a nivel mundial, que la Organización Mundial de Meteorología (OMM) identificó centros específicos para su seguimiento y pronóstico. El que corresponde a la Región IV (Norteamérica,

Centroamérica y el Caribe) es el Centro Nacional de Huracanes de los EUA (en Miami, Florida), aunque en el ámbito de esta función internacional es llamado el Centro Regional Meteorológico Especializado.

El término genérico para este tipo de tormenta es el de ciclón tropical, pero dependiendo de su intensidad (qué tan baja es su presión central o qué tan altas son sus velocidades de viento), se les denomina depresiones tropicales a las más débiles, tormentas tropicales a las intermedias y huracanes a las más intensas. Inclusive los huracanes se clasifican en cinco categorías de la llamada escala Saffir-Simpson. Al generarse e intensificarse los ciclones tropicales transitan por varias de estas categorías, tanto en sus etapas de intensificación como de decaimiento. Al cambiar de una categoría a otra no existe un cambio abrupto en sus características, sigue siendo el mismo fenómeno aunque con intensidad cambiante. A las depresiones tropicales simplemente se les numera, al alcanzar la intensidad de tormenta tropical se les da un nombre de persona, mismo con el que permanecen identificadas hasta que se disipan.

### Ciclones tropicales en el mundo

Existen ciclones tropicales en el Atlántico Norte, en el Pacífico Norte y Sur y en el Océano Índico, tanto en su porción al norte del Ecuador como en su porción al sur del mismo. La división entre el hemisferio norte y el hemisferio sur es importante porque los ciclones tropicales se dan en épocas distintas del año en ambos hemisferios. El pico de cada temporada de ciclones tropicales se da en el verano local, es decir en el hemisferio que se encuentra inclinado hacia el Sol en dicho momento, en general junio a noviembre en el hemisferio norte, diciembre a mayo en el hemisferio sur.

Ahrens (1994) plantea siete distintas zonas generadoras de ciclones tropicales en el planeta:

3. El Pacífico Norte Occidental (el lado asiático) que genera un promedio de 26 sistemas al año, 31% del total anual mundial.
4. El Pacífico Nororiental (el lado americano) que genera un promedio de 17 sistemas anuales, 20% del total.
5. El Atlántico Norte genera unos 10 sistemas anuales, 12% del total.
6. El Índico Sudoccidental (el lado africano) con 10 sistemas anuales y 12% del total.



7. El Pacífico Sur (occidental, el lado australiano) con 9 sistemas y 11% del total.
8. El Índico Sudoriental (el lado australiano) con 7 sistemas y 8% del total.
9. El Índico Norte (en la vecindad de la India) con 5 sistemas y 6% del total.

Se observan solo dos países que son afectados por ciclones tropicales de dos zonas ciclógenas distintas: Australia y México. Aunque el Pacífico Noroccidental es la zona más activa con 26% del total, México tiene que vigilar tanto el Pacífico Nororiental como el Atlántico Norte, que en conjunto general el 32% del total.

## Ciclones tropicales en México

No solamente es México uno de los países del mundo más afectados por ciclones tropicales, sino que prácticamente no hay parte del territorio nacional que no se vea afectado por sus manifestaciones. Esto incluye a la totalidad de los estados costeros pero también, en el caso de la precipitación pluvial, a la totalidad de los estados interiores del país.

En la página web del Servicio Meteorológico Nacional, Hernández (2009a), aparece una tabla que enumera a todos los ciclones tropicales que han incidido directamente sobre México desde 1970 hasta 2008. En ella se registran 170 casos, es decir, un promedio de 4.4 incidencias directas anuales. De éstos, 106 incidencias fueron por el litoral del Pacífico (62%) y 64 incidencias fueron por el litoral del Atlántico (Golfo de México y Caribe) (38%). En términos de estadísticas anuales, se pueden esperar dos a tres incidencias por el Pacífico y una a dos incidencias por el Atlántico, cada año. Considerando que las zonas ciclógenas completas del Pacífico Nororiental y Atlántico Norte producen del orden de 17 y 10 sistemas anuales respectivamente, se observa que México recibe una fracción importante del número total de sistemas como incidencias directas sobre su territorio (del orden del 15 al 20% en ambos casos).

En la misma página web, Hernández (2009b), aparecen dos mapas con la ubicación de cada una de las incidencias de huracanes moderados (categorías I y II en la escala de Saffir-Simpson) y de los huracanes mayores (escala III, IV y V en dicha escala), respectivamente. En

éstos se observan como zonas de gran concentración de incidencias (en orden de mayor a menor):

- El extremo sur de la Península de Baja California.
- La costa de Quintana Roo.
- La costa de Nayarit-Sinaloa.
- La costa de Tamaulipas.
- El extremo norte de la costa de Veracruz.

Observe que esto no restringe en forma importante las zonas sujetas frecuentemente a lluvias ciclónicas (y otras de las manifestaciones), pues una vez en tierra los ciclones tropicales continúan su avance; el mejor ejemplo serían los de Yucatán y Campeche que, aunque con baja incidencia directa, sí son fuertemente afectados por ciclones tropicales que inciden sobre la costa de Quintana Roo (y frecuentemente egresan de nuevo al mar por las costas de Campeche o Yucatán).

Información muy pertinente en este tema se puede encontrar también en la página web del SMN en la sección histórica de ciclones tropicales. En ella se pueden acceder a crónicas/análisis de cada uno de los ciclones tropicales desde 1997 hasta 2009 para el Atlántico Norte y el Pacífico Nororiental, aún aquellos que no incidieron directamente sobre México. Dichos documentos contienen, frecuentemente, mapas de la precipitación diaria nacional para el o los días en los que dicha precipitación ciclónica resultó importante. Esto permite recopilar un catálogo de casos de ciclones tropicales que generaron lluvias importantes en la zona de interés particular del usuario. Cada ciclón tropical tiene su propio documento, por lo que, evidentemente, no puede hacerse referencia formal a ellos uno a uno.

## Manifestaciones destructivas

Los ciclones tropicales ofrecen diversas manifestaciones destructivas que, aunque enlazados unas con otras en varios aspectos, pueden ser tratadas en forma separada. Las cuatro principales son:

1. vientos,
2. oleaje,
3. marea de tormenta, y
4. precipitación pluvial.

Aunque existen otros como descargas eléctricas, tornados, deslizamientos de tierra, flujos de lodos, etcétera.

En el contexto de este manual, se tratará exclusivamente la manifestación destructiva de la precipitación pluvial y en menor medida el de marea de tormentas (que también produce inundaciones).

Directamente sobre la línea costera, es el sitio en el que las cuatro manifestaciones destructivas se concentran en su mayor magnitud, en forma simultánea y en el mismo sitio. Pero la manifestación destructiva de la precipitación pluvial se mantiene más allá de la incidencia del ciclón tropical sobre la costa hacia tierra adentro, inclusive más allá del parteaguas continental entre las vertientes marítimas y el altiplano central. Esta persistencia de la lluvia tiene mayor penetración tierra adentro inclusive que los vientos intensos. Por otro lado, aunque una depresión tropical se considera menos productora de lluvia que un huracán categoría 5, la correlación entre intensidad del sistema y su producción de lluvia es relativamente débil. Existen casos de tormentas tropicales que producen una gran cantidad de lluvia y huracanes intensos que producen relativamente poca lluvia.

## El mecanismo de producción de lluvias

¿Cómo es que produce lluvia un ciclón tropical? ¿Por qué son las precipitaciones pluviales en un ciclón tropical tan voluminosas?

El mecanismo de producción de lluvia de un ciclón tropical es, de hecho, una parte integral del mecanismo que le brinda energía al sistema para mantener su característico flujo de viento. Los ciclones tropicales se caracterizan por un vigoroso centro de baja presión, alrededor del cual giran los vientos en sentido opuesto al de las manecillas de reloj (visto desde el espacio). Este giro es prácticamente tangencial (sin converger hacia o diverger desde el centro) lejos de la superficie terrestre. Pero cerca de la superficie terrestre, por influencia de la fricción, se presenta una ligera convergencia hacia el centro, que varía de unos  $15^\circ$  a unos  $45^\circ$  dependiendo de la rugosidad del mar o del terreno. La trayectoria de una parcela de viento en superficie es una espiral que a la vez gira alrededor y converge hacia el centro de baja presión. Por continuidad, también existe un flujo ligeramente divergente en la parte superior de la atmósfera. Los vientos se van haciendo más intensos conforme se acerca hacia el centro de baja presión.

Los vientos espirales convergentes en la superficie sobre el agua marina tropical van recogiendo la evaporación de la misma hasta prácticamente saturarse de humedad. En este sentido se trata de un mecanismo que va concentrando la humedad proveniente de una amplia zona alrededor del centro de baja presión hacia dicho centro. Este aire cálido y húmedo no puede seguir convergiendo indefinidamente hacia el centro de giro; al alcanzar un anillo (al que típicamente se llama la pared del ojo) este aire empieza a ascender y con ello entrar a niveles que tienen menores temperaturas y presiones que en la superficie. Con este decremento de temperatura, primero se satura, y luego empieza a presentarse condensación en gotas de agua, lo que eventualmente genera el proceso de lluvia. Las densas nubes que se forman en este anillo es lo que lleva a denominarlo pared del ojo.

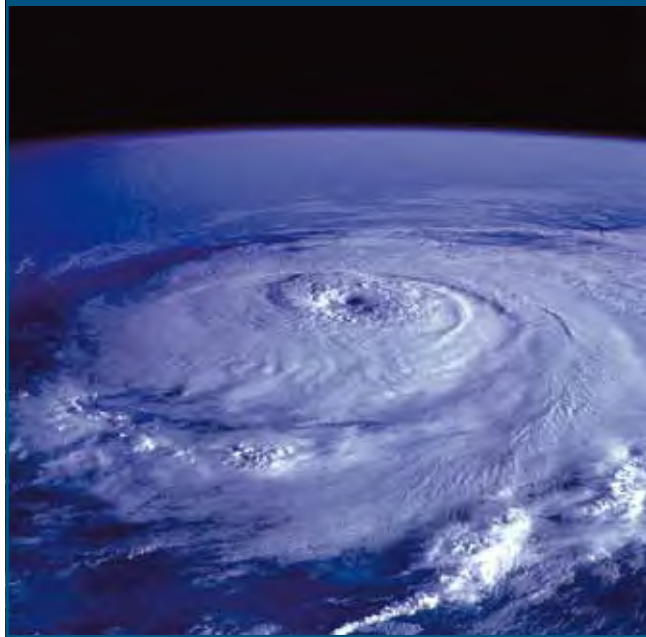
Pero al presentarse la condensación, el calor originalmente utilizado para evaporar el agua de la superficie del mar, se cede nuevamente al aire circundante, manteniendo su temperatura por arriba de la que correspondería a dicho nivel atmosférico y proporcionándole una continua flotación. Esto es, los vientos convergentes de superficie no solamente están transportando humedad hacia el centro, sino incluso energía, que luego se manifiesta con esta flotación y manteniendo el centro de baja presión. Este centro de baja presión autosustentado, mantiene el flujo convergente del viento y con ello el transporte de humedad y de calor hacia el centro.

El ciclo se cierra por la parte alta del ciclón, del cual emerge aire que ya ha perdido la mayor parte de su humedad, que se va enfriando al alejarse de la pared del ojo, eventualmente descendiendo y cerrando la celda de circulación, entrando nuevamente a la parte de flujo superficial desde la periferia hacia el centro. Al transcurrir el tiempo, la misma parcela de aire circula múltiples veces transportando humedad y calor hacia el centro en cada ciclo.

¿Qué pasa al incidir el ciclón tropical a tierra y alejarse de su fuente energética, la superficie del mar tropical? Pues, naturalmente, el ciclo descrito se va debilitando y con ello la producción de lluvia también. Pero este debilitamiento es paulatino y ya lejos del punto costero de incidencia se puede precipitar una gran cantidad de agua que proviene originalmente de la superficie del mar. Al perder el mecanismo de sustentación (al menos de parte del agua

total) ésta se precipita, en ocasiones violentamente, ya en la etapa de disipación sobre tierra.

**Figura 1. Huracán Elena en el Golfo de México el 1° de septiembre de 1985 cuando sus vientos máximos sostenidos eran de 182 km/h (Fuente: Image Science and Analysis Laboratory, Johnson Space Center, NASA)**



No toda la lluvia se precipita directamente sobre el anillo de la pared del ojo. La realidad es que a lo largo de las trayectorias espirales del viento superficial existe convergencia (las líneas de flujo se acercan entre sí a lo largo de la trayectoria), por lo que la convección (ascenso de aire húmedo y cálido) se da todo a lo largo de dichas espirales, aunque produciendo tormentas más intensas y más continuas cuanto más cerca se está de la pared del ojo.

### El campo de lluvias

El campo de lluvias alrededor de un ciclón tropical es relativamente complejo, pero de ninguna manera caótico. Conocer su estructura ayuda a evaluar la precipitación que podría esperarse en un solo punto (o pequeña región) sobre la que se traslada el ciclón tropical. En forma muy burda, se pueden esperar láminas totales por evento (el paso completo de ciclón tropical) cuando menos de unos 100 mm en zonas completamente planas y para

ciclones transitando a relativamente alta velocidad sobre el punto en cuestión. Pero es más común que en puntos que se encuentran directamente bajo la trayectoria del ojo se presenten 250 mm, con lecturas de 400 mm no poco frecuentes. El huracán Mitch en Centroamérica dejó acumulaciones de ¡900 mm! Un caso verdaderamente extremo fue el del huracán Wilma pasando lentamente cerca de Isla Mujeres, Quintana Roo. Una estación meteorológica automática de la Secretaría de Marina Armada de México registró lo que sería el record hemisférico del lado americano del planeta: cerca de ¡1600 mm de lluvia en 24 horas! Un ciclón tropical grande puede cubrir con nublados densos y lluvias muy frecuentes una zona de alrededor de 300 km alrededor del centro de giro (del orden de 280,000 km<sup>2</sup> simultáneamente).

En la **figura 1** se muestra una fotografía de un ciclón tropical desde una órbita de unos 300 km sobre el nivel de la superficie, en la que se aprecian muchas de las características de la estructura del campo nuboso (y en forma indirecta del campo de lluvias). Primero se observa su gran extensión. Como punto de comparación el espesor de las nubes más altas es del orden de 10 km. También se observa su relativa simetría alrededor del centro de giro. Se observa al centro del ciclón tropical el llamado ojo del huracán prácticamente libre de nubes. A su alrededor se conglomeran las nubes más densas, productoras de las lluvias más sistemáticamente intensas, en un anillo que conforma la pared del ojo. En este anillo ni siquiera se puede discernir la separación entre una columna convectiva y sus vecinas; se trata de prácticamente un continuo en forma anular. En puntos debajo de la pared del ojo deben esperarse lluvias con intensidades de al menos 25 mm/h. A esta tasa de precipitación, de permanecer sobre el mismo punto 24 horas continuas se acumularían 600 mm/24h. Aunque se observa una cobertura nubosa extensa y en su mayor parte suave, se alcanzan a ver como diversas tormentas convectivas perforan ésta cubierta, ubicándose sobre líneas espirales. Cada una de estas tormentas puede estar produciendo lluvia muy intensa, que también puede alcanzar sin problemas los 25 mm/h. Pero al girar las espirales estas tormentas se trasladan rápidamente sobre la superficie de la Tierra y en general no producen tanta acumulación sobre un solo punto como el anillo central. Resulta muy interesante que estas tormentas intensas pueden estar a cientos de kilómetros del centro

de giro. La razón por la que la acumulación, en general, va disminuyendo al alejarse del centro de giro, no es que las tormentas son más débiles, sino que se presentan más espaciadas entre sí, o con menor frecuencia sobre el punto de interés. En la **figura 2** se ilustra este punto con mediciones de lluvia de diversas estaciones meteorológicas automáticas al paso de un ciclón tropical por el sureste y noreste de México.

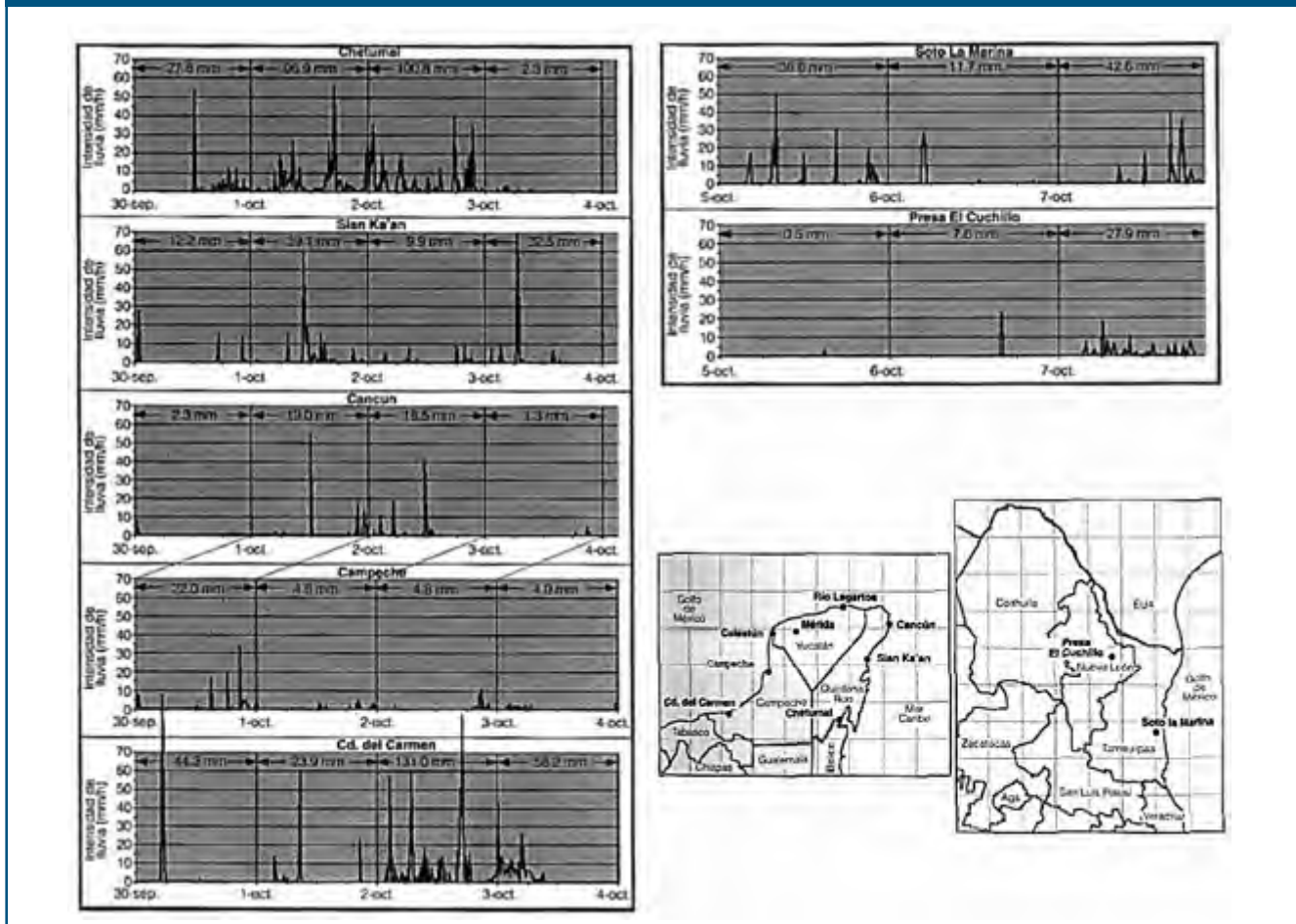
La verdadera estructura de un ciclón tropical está, de alguna manera, oculta a nuestros ojos en las imágenes de satélite más comunes. Las de luz visible identifican las nubes más altas que tienen un cobertura muy uniforme y que ocultan a la estructura de bandas espirales debajo de ella. En éstas imágenes es fácil sobreestimar la extensión de lluvias del ciclón tropical. Las imágenes infrarrojas que mapean las temperaturas de los topes de las nubes, más frías entre más altas, muestran un poco mejor esta

estructura. Pero el radar meteorológico, siendo un sensor activo, ve a través de las nubes y nos da una idea mucho más clara de la estructura de lluvias en el interior. Las **figuras 3 y 4** muestran ejemplos de productos de radar durante la incidencia de ciclones tropicales. Hoy en día, los sensores de microondas en satélites especializados y aún los de radar (como el TRMM), permiten ver la estructura aún desde el espacio.

## Evolución al incidir en tierra

Al acercarse un ciclón tropical a la tierra, lo primero que ocurre es que la alimentación de humedad y calor hacia el centro del ciclón se ve limitada desde la parte de las trayectorias espirales que pasan sobre zonas terrestres. Esto inicia un proceso de asimetría y de debilitamiento del sistema. En zonas planas (como la Península de

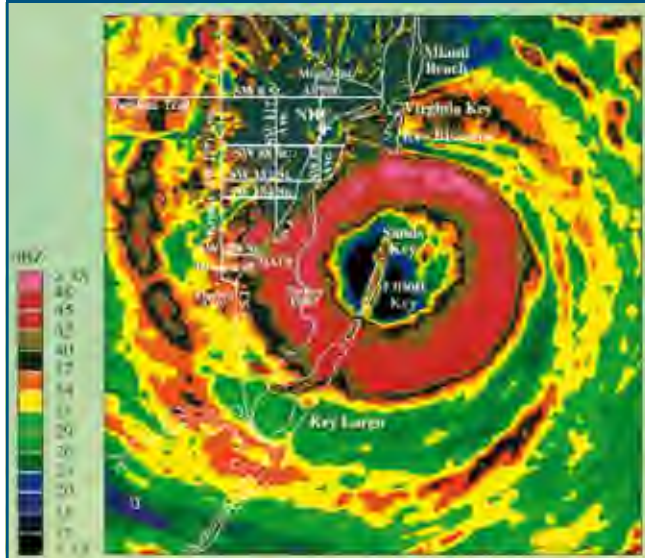
**Figura 2. Registros de intensidad de lluvia de varias estaciones meteorológicas automáticas en el SE y NE de México al paso del huracán Keith 2000, con mapas de la ubicación de las estaciones. Fuente: Rosengaus (2001)**





Yucatán) el proceso de debilitamiento es relativamente lento comparado con la velocidad de translación, pudiendo mantener su peligrosidad por cientos de kilómetros

**Figura 3.** El huracán Andrew observado desde el radar ubicado en el Centro Nacional de Huracanes de los EUA el 24 de agosto de 1992. La extensión cubierta por la gráfica es de 100 km por 100 km. Se observa claramente la llamada pared del ojo



**Figura 4.** Estructura del huracán Wilma antes de entrar a tierra desde el radar de Cancún el 21 de octubre de 2005. El área cubierta por la imagen es de 960 km por 960 km. Se observa el ojo del huracán ligeramente menor al tamaño de la isla de Cozumel



tierra adentro. Por ejemplo: es frecuente que los ciclones tropicales que inciden por la costa este de la Península de Yucatán, mantengan su calidad de ciclón tropical hasta atravesar la totalidad de la península y al re-emergir al mar (por la costa norte o por la costa oeste) vuelvan a re-intensificarse. En término de lluvias se muestran algunos ejemplos de la huella de varios ciclones sobre la Península de Yucatán en la [figura 5](#).

La Península de Baja California también permite que estos sistemas la atraviesen sin perder su calidad de ciclones tropicales, no por tener una topografía plana, sino porque resulta relativamente angosta. El acceso de aire marítimo húmedo hacia el centro del sistema se mantiene relativamente intacto no llegando a producirse una disipación total antes de que reemerja hacia el mar. El cruce de esta península puede producirse no solo de la costa Pacífico hacia la costa del Mar de Cortés, sino en dirección opuesta también. Algunas huellas de lluvia de estos casos se muestran en la [figura 6](#).

En el resto de la costa mexicana, para incidencias relativamente perpendiculares a la línea costera, el acceso de aire marítimo tropical hacia el centro se ve severamente reducido después de haber recorrido una corta distancia, por lo que, en general, terminan disipándose sobre tierra. Puesto que este debilitamiento afecta el proceso de producción de lluvia, la huella de precipitación severa se reduce rápidamente hacia tierra adentro. Esto se ve amplificado por la casi generalizada presencia de orografía significativa *quasi* paralela a la costa tierra adentro de la misma. Algunos ejemplos de estas huellas de lluvia se muestran en la [figura 7](#).

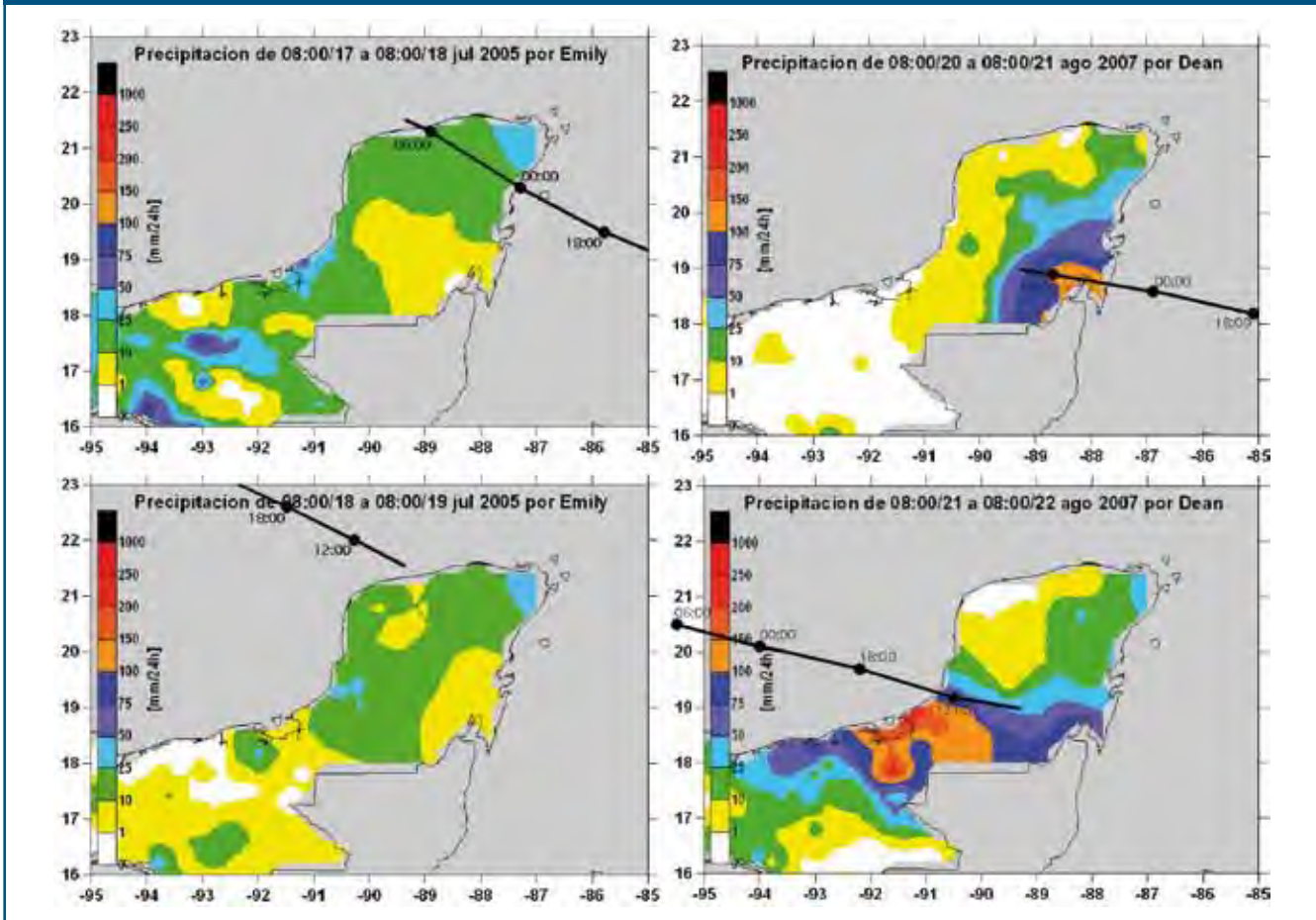
Pero también resulta relativamente común el que ciclones tropicales del Pacífico pasen en forma casi tangencial a la costa, ya sea sobre el mar, ya sea sobre tierra, ya sea en forma híbrida. En este caso la disipación no ocurre, pero la huella de lluvia se sigue manteniendo cerca de la costa y restringida a la vertiente marina. Este caso es muy común sobre el Pacífico Sur de México. Casos de este tipo se muestran en la [figura 8](#).

### Efecto de la velocidad de translación

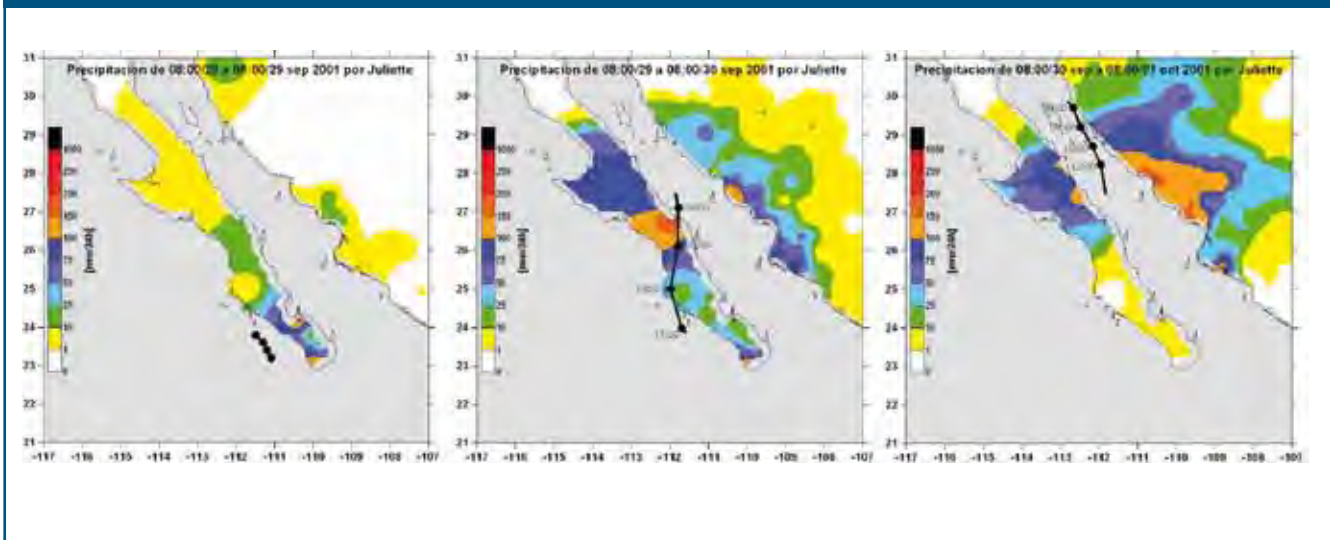
En zonas sin orografía significativa, la velocidad de translación tiene la mayor influencia en la lámina acumulada en un cierto sitio por un ciclón tropical. Simplificando el campo de lluvias al extremo, supongamos que un ciclón



**Figura 5. Huellas de lluvia diaria producidas por los ciclones tropicales Emily (2005) y Dean (2007) al pasar sobre la Península de Yucatán. Se muestra la porción de la trayectoria recorrida durante los intervalos de la acumulación de lluvia**



**Figura 6. Huellas de precipitación producidas por el ciclón tropical Juliette (2001) al pasar por sobre la Península de Baja California. Se presenta la parte de la trayectoria recorrida en cada intervalo de 24 horas**



tropical es un círculo de 50 km a la redonda del centro de giro dentro del cual la intensidad de lluvia es uniforme a 25 mm/h y fuera de él no produce lluvia alguna. De Rosengaus, Jiménez y Vázquez (2002) se deduce que dos terceras partes de los ciclones que inciden sobre México tienen velocidades de translación que están dentro del rango de 6 a 36 km/h. Analicemos un sitio cualquiera que se encuentra sobre la trayectoria del ciclón tropical.

Para la velocidad de 6 km/h, la zona de lluvia tardaría 16.7 horas en pasar sobre el sitio, generando una lámina de  $(16.7 \text{ h})(25 \text{ mm/h}) = 417 \text{ mm}$ . Para la velocidad de 36 km/h, a la zona de lluvia le tomaría 2.8 horas en pasar sobre el sitio, generando  $(2.8 \text{ h})(25 \text{ mm/h}) = 69 \text{ mm}$ . Este caso hipotético muestra claramente la relación inversa que existe entre la lámina acumulada total y la velocidad de translación.

**Figura 7. Huellas de precipitación de los ciclones tropicales Keith (2000), Rosa (2000), Kenna (2002), Emily (2005) y Dean (2007) incidiendo al continente en forma casi perpendicular, incluyendo algunos de los días en que estaban ya en estado de disipación (sin trayectoria sobrepuesta)**

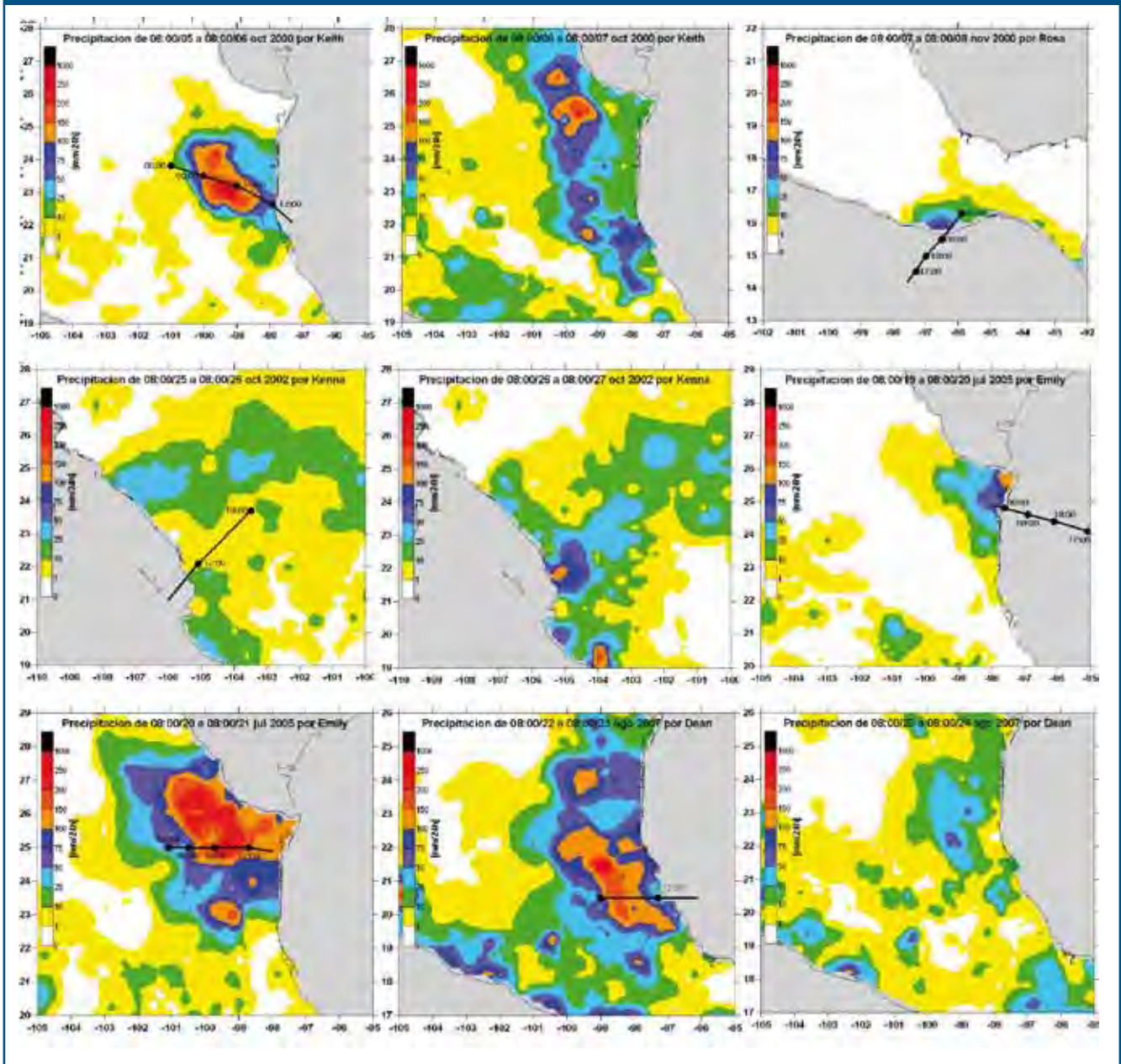
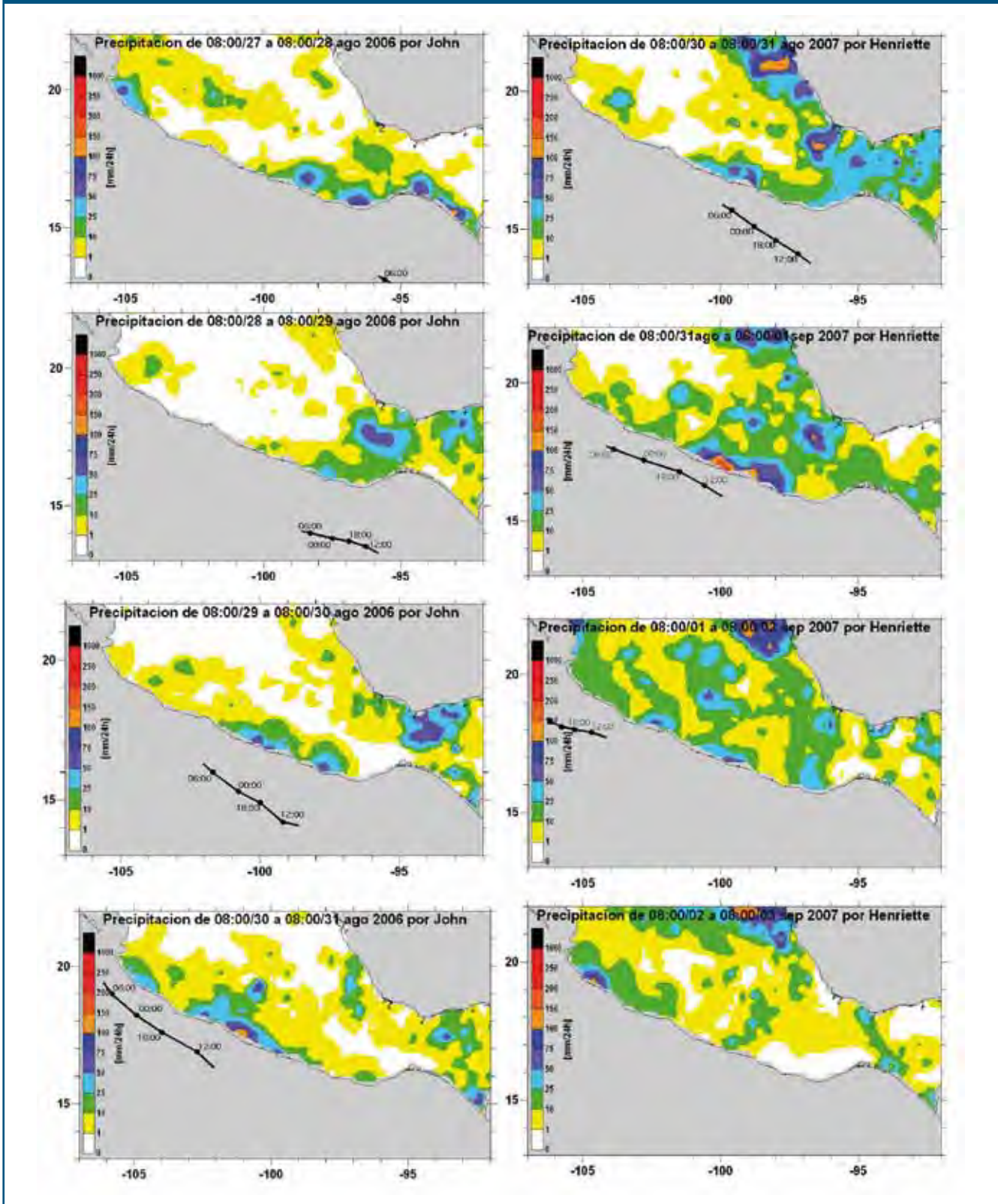




Figura 8. Evolución de las huellas de precipitación generada por ciclones tropicales con trayectorias *pseudo* paralelas a la costa Pacífico Sur de México (John, 2006 y Henriette, 2007). Observe la tendencia de las mayores acumulaciones por detrás de la trayectoria recorrida en cada día



## Efectos orográficos

Para las condiciones específicas de México, el efecto de la orografía en la lámina total precipitada, y su distribución geográfica, resulta determinante, quizá más aún que la propia velocidad de translación del sistema. En general, las sierras *quasi* paralelas a la costa operan como rampas que amplifican la productividad de lluvia de corrientes de aire marítimo tropical cuando éstas inciden en forma casi perpendicular al eje longitudinal de la sierra. Esto porque representa un factor más de ascenso mecánico de este aire húmedo al tener que pasar alrededor de la cresta de la sierra. En el lado opuesto de la sierra, en la que esta corriente desciende, su presencia se convierte en un inhibidor de lluvia, pues el descenso mecánico de la corriente es opuesto al movimiento natural de convección (hacia arriba).

Un caso particular de esto se presenta para el flujo ciclónico que caracteriza a estos fenómenos. En la vertiente marina de la sierra, orientados en dirección del movimiento de translación del ciclón, del lado derecho de la trayectoria se presentan vientos que viajan desde el mar hacia la cima de la sierra, manifestándose este efecto de amplificación orográfica de la lluvia. Por el contrario, al lado izquierdo de la trayectoria, el viento viaja desde la cima de la sierra hacia el mar, creándose un efecto de atenuación orográfica de la lluvia. Por ello puede esperarse una cierta asimetría en la magnitud y extensión de las huellas de lluvia, mayor lámina y extensión hacia la derecha del punto de incidencia del ciclón, menor lámina y extensión hacia la izquierda del punto de incidencia del ciclón. Este efecto no se da exclusivamente sobre la sierra en sí, puede extenderse también sobre la llanura costera. El efecto es más visible para las lluvias más periféricas, lejos del anillo de la pared del ojo. El factor de asimetría puede ser del orden de 3X. En los ejemplos mostrados en la [figura 7](#), para incidencias casi perpendiculares, se pueden observar algunos casos de la huella de lluvia asimétrica que se ha mencionado.

El efecto opuesto podría observarse en la vertiente interna de la sierra, pero no resulta evidente, parcialmente porque las lluvias en dicha vertiente ya son menores que en la vertiente marítima y también porque la estructura giratoria del ciclón ya se encuentra severamente afectada al pasar sobre la propia sierra. Es pues esencial que, aún en el contexto de precipitación pluvial, el tomador de

decisiones considere en todo momento el patrón giratorio de vientos de un ciclón tropical. Observe también que, considerando las trayectorias típicas de incidencia en ambos litorales, la zona más lluviosa puede esperarse al Norte del punto de incidencia en la costa Golfo de México y la Sierra Madre Oriental, mientras que podría esperarse al sur del punto de incidencia en la costa Pacífico y la Sierra Madre Occidental. Para el caso de la costa Pacífico Sur de México (digamos de Puerto Ángel, Oaxaca hasta Puerto Vallarta, Jalisco) en la que muchos de los ciclones tropicales llevan trayectorias *quasi* paralelas a la costa, el intervalo más lluvioso puede esperarse después del paso del ciclón frente al punto de interés en dicha costa (pues los vientos reinantes serán del mar hacia tierra). Esto puede ser problemático para la población ya que, intuitivamente pone mucho más atención a la etapa de acercamiento que a la etapa de alejamiento. Esto también se puede observar en los ejemplos que se muestran en la [figura 8](#).

Aunque ya se ha comentado, las sierras típicas en México bloquean una parte muy importante del flujo atmosférico, porque en los primeros miles de metros sobre el nivel del mar se encuentra la mayor parte de la masa de la atmósfera y también de la humedad de la misma. Por lo que no resulta sorprendente que las huellas de lluvia más intensas se restrinjan a las vertientes marinas, entre el mar y el parteaguas continental. Esto puede identificarse en las [figuras 7 y 8](#).

## Efectos de la marea de tormenta

La marea de tormenta es el resultado de la acumulación de agua marina cerca de la costa por efectos del viento y de la presión de un ciclón tropical. Un exceso de agua se acumula frente a las costas en las que el viento está soplando del mar a tierra, sobre todo si no puede drenar fácilmente por una configuración cóncava (tipo bahía) del litoral. En menor medida se presenta también por el déficit de presión atmosférica al centro del ciclón e inclusive por efectos de la llamada fuerza de Coriolis a la derecha de un viento alineado con la línea costera. Se manifiesta como una sobre-elevación del nivel del mar que, durante incidencia de ciclones tropicales, puede alcanzar varias veces la magnitud de la marea astronómica máxima en la zona de interés. Mayores detalles se pueden consultar en Rosengaus (1998).

Esta sobre-elevación ya es en sí productora de una inundación costera. Pero no es éste el efecto que se desea enfatizar en el contexto del presente manual, sino el efecto que tiene en la capacidad de drenaje de las corrientes naturales al mar. Las desembocaduras al mar de los ríos tienen una zona de arremansamiento hacia aguas arriba de la línea costera. Este perfil de la superficie del agua es el necesario para ajustar el tirante normal del río (digamos el tirante para flujo permanente en el cauce) con el tirante obligado del nivel del mar. Las oscilaciones del nivel del mar por marea astronómica producen que en la zona del llamado estuario, exista influencia de este nivel del mar cambiante, incluyendo el flujo de agua marina hacia aguas arriba creando una cuña salina. Cuando el nivel del mar es extraordinariamente alto, el arremansamiento del río se propaga más allá de lo normal hacia aguas arriba. Esto por un lado eleva el tirante que el río tiene para un cierto caudal de descarga o reduce la capacidad de descarga de dicha corriente. Por ejemplo: si en la zona costera de México son usuales las mareas astronómicas de  $\pm 0.30$  m, una marea de tormenta moderada puede alcanzar  $+1.50$  m (las más altas medidas han alcanzado del orden de  $+8.0$  m) Si a esto adherimos que la marea de tormenta es producida por un ciclón tropical que también es un gran productor de precipitación pluvial, entonces tendremos una posible reducción en la capacidad de descarga en un intervalo de tiempo en que requerimos la mayor capacidad de descarga posible, o un incremento en el tirante cuando de todas formas tendremos tirantes muy por arriba de lo normal.

### Algunos ejemplos fotográficos

A continuación se presentan algunas fotografías que ilustran la magnitud y peligro de las inundaciones generadas por ciclones tropicales; ver fotos 1, 2, 3, 4, 5, y 6.



Foto 1. La ciudad de Cozumel inundada por lluvias generadas por el huracán Wilma (2005). Fotografía por M. Rosengaus.



Foto 2. Otra perspectiva de Cozumel inundado por el huracán Wilma (2005). Fotografía por M. Rosengaus.



Foto 3. Península de Yucatán con nivel de agua sobre-elevado por las lluvias de Wilma (2005) y vertiendo hacia el mar. Fotografía por M. Rosengaus.



Foto 4. Manifestación de la destructividad de las corrientes que se formaron por calles de fuerte pendiente en Acapulco durante las lluvias del huracán Pauline (1997). El chasis y el tren motriz del autobús estaban cientos de metros más abajo, también separados entre sí. Fotografía por M. Rosengaus.





**Foto 5.** Erosión de cerca de 6 m de profundidad producida por corrientes sobre calles de gran pendiente causadas por las lluvias del huracán Pauline (1997) en Acapulco. Fotografía por M. Rosengaus.



**Foto 6.** Consecuencia de ubicar la cimentación de algunas columnas de la construcción dentro del cauce de un arroyo en Acapulco durante las lluvias por Pauline (1997). Fotografía por M. Rosengaus.

## El manejo de la incertidumbre

Aunque muchas de las medidas necesarias para el control de inundaciones se toman con mucha antelación a la ocurrencia del fenómeno hidrometeorológico que las genera, algunas de ellas deben ser tomadas en forma inmediatamente previa a la incidencia del mismo. Hoy en día se emiten pronósticos de trayectoria y de intensidad, para los ciclones tropicales del Atlántico Norte y del Pacífico Nororiental, con horizontes a futuro de 5 días. Dichos pronósticos tienen asociada una cierta incertidumbre que, naturalmente, resulta mayor conforme el horizonte de pronóstico es mayor. Esto es, la decisión sobre qué medidas es necesario tomar está basada en información más certera cuando falta poco tiempo para el inicio de la afectación, y en información más incierta cuando falta mucho tiempo para que inicie dicha afectación. Desde el punto de vista del caso de lluvias potencialmente productoras de inundaciones, la incertidumbre en la trayectoria resulta de la mayor importancia. Esto, simplemente, porque en el rango de posibilidades, las lluvias precipitarían en unas cuencas en un extremo y en otras cuencas en el extremo opuesto. Además, como ya se ha visto, la producción de lluvia de un ciclón tropical no se encuentra altamente correlacionada con la intensidad del sistema. La incertidumbre en el pronóstico de la trayectoria se manifiesta tanto en el tiempo disponible para el inicio de la afectación (incertidumbre a lo largo de la trayectoria) como en el lugar preciso de incidencia (incertidumbre transversal a la trayectoria). Se acostumbra precisar el nivel de incertidumbre alrededor de la trayectoria más probable, como un cono o globo de incertidumbre, dentro del cual la posición real de ciclón se encontrará con un cierto grado de probabilidad. El Centro Nacional de Huracanes de los EUA (en su función internacional como responsable de la Región IV de la Organización Meteorológica Mundial) utiliza conos (o globos) de incertidumbre con una probabilidad de 75% basados en su propio desempeño histórico de los últimos 10 años. En forma gráfica presenta los conos de incertidumbre para el horizonte de 72 horas y de 120 horas a futuro.

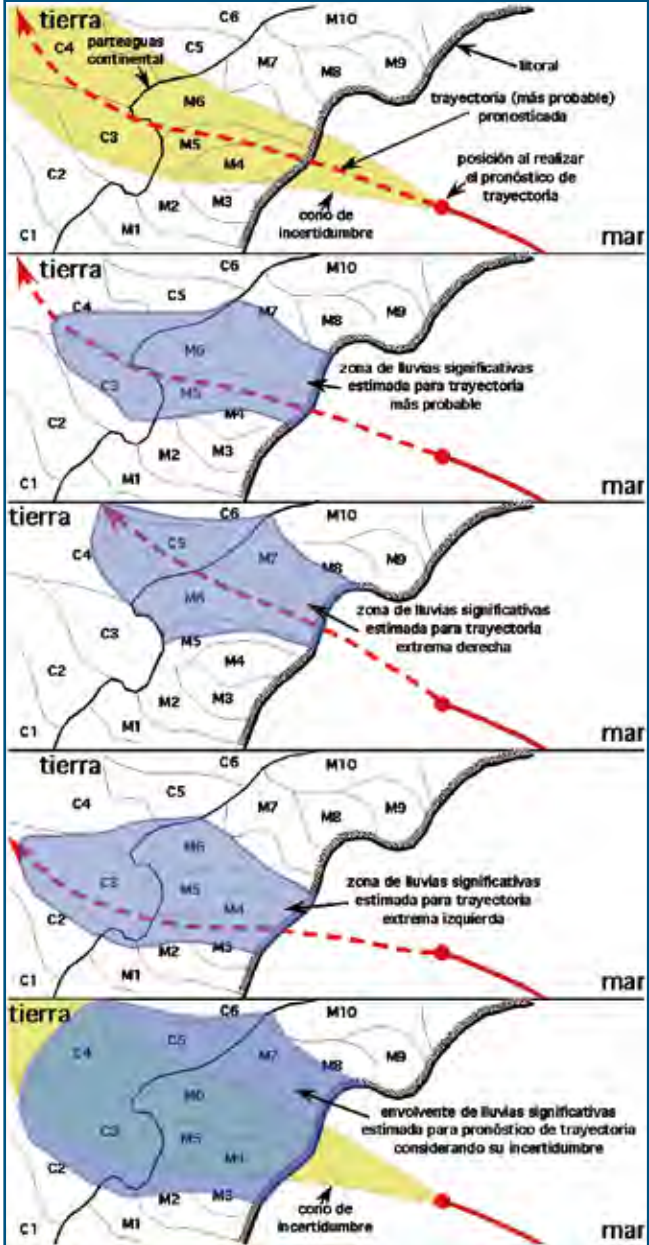
Para que las decisiones sean robustas, deben ser realizadas considerando que la verdadera trayectoria no será necesariamente la más probable, sino que se encontrará en cualquier lugar dentro del cono de incertidumbre. En forma simplificada, se pueden tomar las medidas

necesarias que requerirían la yuxtaposición de tres casos distintos: para la trayectoria más probable, para la

trayectoria extrema al lado izquierdo del cono de incertidumbre y para la trayectoria extrema al lado derecho del cono de incertidumbre. Esto implica que, las medidas a tomar necesariamente incluirán una zona geográfica más amplia que la que eventualmente será afectada (pues no se darán los tres escenarios, sino solamente uno que (probablemente) se encontrará entre los dos extremos. Esto se ilustra en la [figura 9](#). Observe, en dicha figura que, de considerar sólo la trayectoria pronosticada más probable (al centro del cono de incertidumbre) las cuencas estimadas como que serán afectadas son: M4, M5, M6, M7, C3, C4 y C5. Pero al considerar la incertidumbre presente en el pronóstico, las cuencas a ser consideradas aumentan, incluyéndose: M1, M2, M3, M8, M10, C2 y C6 además de las previas.

También resulta importante considerar que el proceso de toma de decisiones no es estático, es decir, no basta con tomar decisiones en base a uno solo de la secuencia de pronósticos emitidos, digamos 72 horas antes del estimado inicio de afectación por lluvias significativas. Las medidas tomadas (en forma preliminar) inicialmente deben irse afinando en términos de los pronósticos subsecuentes (incluyendo sus respectivos conos de incertidumbre). Esto inclusive cuando los nuevos pronósticos salgan del cono de incertidumbre inicialmente establecido. Como, para una cierta zona específica, el cono de incertidumbre se va reduciendo conforme se acerca el instante de inicio de afectación, esta afinación va considerando zonas a ser afectadas cada vez más pequeñas. Algunas zonas que originalmente fueron consideradas dentro de las que potencialmente serían afectadas, irán saliendo de esta condición. Inclusive zonas nuevas podrán irse incorporando. Este proceso dinámico de toma de decisiones se ilustra en la [figura 10](#). En ésta se muestra la evolución en el tiempo de las zonas consideradas como sujetas a lluvias significativas conforme avanza el tiempo y el sistema avanza hacia y dentro de tierra. El primer panel es igual al último panel de la [figura 9](#). Recuerde que éste es, solamente, un diagrama simplificado, la realidad siempre es más complicada que este simple esquema.

**Figura 9.** En el panel superior se muestra una trayectoria pronosticada con su cono de incertidumbre. En los siguientes tres paneles se muestran las zonas estimadas con lluvias significativas para la trayectoria más probable (central), la trayectoria extrema derecha y la trayectoria extrema izquierda. En el panel inferior se muestra la envolvente de las tres zonas previas, la adecuada para la toma de decisiones con la incertidumbre presente

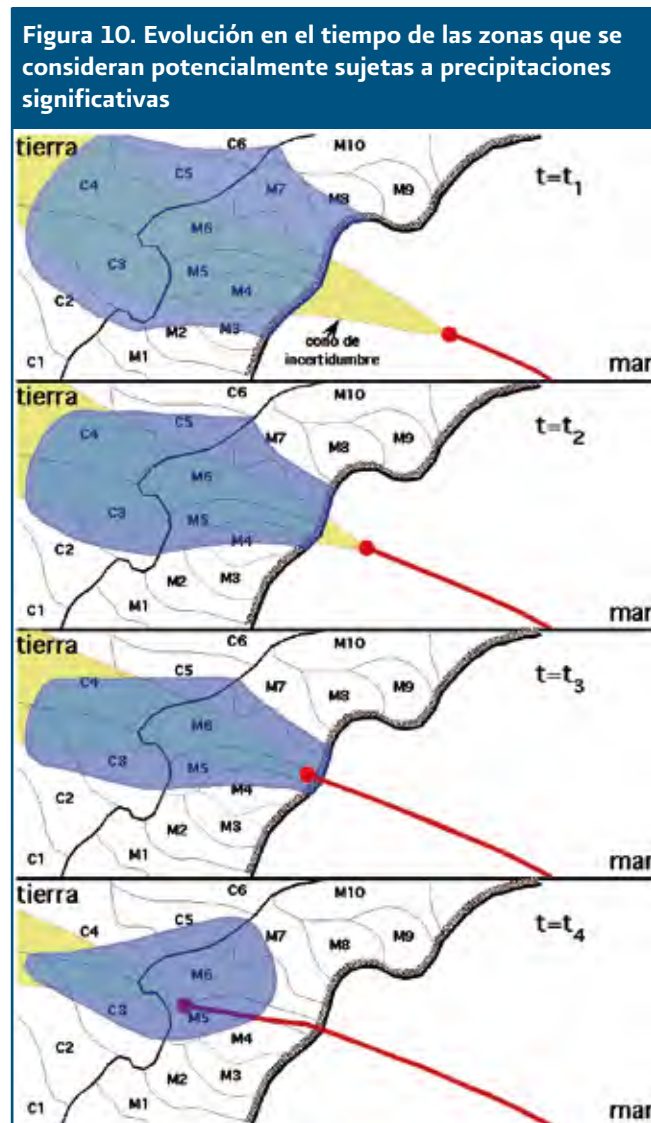




## Conclusión

El campo de las lluvias que generará un ciclón tropical es prácticamente imposible de pronosticar con alta precisión. Esto se debe entre otras razones a:

- La baja correlación que tiene el volumen total precipitado con la intensidad del ciclón tropical.
- La relativamente caótica distribución de las lluvias alrededor del centro del ciclón tropical en diversos instantes de su evolución.
- La rápida transformación de la estructura al entrar el ciclón tropical a tierra.
- La incertidumbre sobre la trayectoria exacta que el fenómeno seguirá y por lo tanto las cuencas específicas que serán afectadas.



- La compleja interacción con la orografía local.
- Los posibles cambios en la velocidad de translación del fenómeno.

Todos estos efectos han sido descritos brevemente, de tal forma que escenarios razonables para toma de decisiones puedan ser realizados, tanto para efectos de prevención de desastres, mucho antes de la emergencia, como para el manejo mismo de posibles emergencias futuras incluso inmediatas; todo esto en el contexto de las inundaciones que estos fenómenos meteorológicos se pueden producir.

## Referencias bibliográficas

- AHRENS, C.D. (1994). *Meteorology Today*, Brooks. Cole Publishing Company.
- HERNÁNDEZ U, A. (2009a), <http://smn.cna.gob.mx/ciclones/historia/ciclones1970-2008.pdf>.
- HERNÁNDEZ U, A. (2009b), <http://smn.cna.gob.mx/ciclones/historia/hmoderados-intensos70-08.pdf>.
- ROSENGAUS M, M. (1998). *Efectos Destructivos de Ciclones Tropicales*, MAPFRE-ITSEMAP-IMTA-AMH, Madrid, España, 251 pp.
- ROSENGAUS M, M. (2001). *Análisis de la temporada 2000 de ciclones tropicales en México*, Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XVI, N° 4, octubre-diciembre 2001, p 5-23.
- ROSENGAUS M, M; Jiménez E, M; Vázquez C. (2002). *Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México*, CENAPRED-IMTA, Ciudad de México, México; 106 pp.







sición de personas y bienes que hacen uso de estas zonas inundables).

6. Es necesario que en las leyes de Asentamientos Humanos y Desarrollo Urbano (LAHYDU), se establezcan criterios para la designación de albergues para alojar damnificados por inundaciones, para que éstos cumplan con criterios mínimos de seguridad estructural, se encuentren asentados en zonas no inundables o de riesgo alguno y cuenten con acceso fácil y no inundable en todo momento. Estos albergues deberán estar preparados para funcionar en cualquier época del año y deben tener un procedimiento bien establecido para dejar de funcionar para el propósito común que tienen cotidianamente e iniciar su funcionamiento como albergue. Deberán contar también con un respaldo de plantas de luz de emergencia y de ser posible con una planta potabilizadora portátil.
7. Con respecto a la LAHYDU, es necesario en los casos de zonas conurbadas y con mayor énfasis en aquéllas de dos o más estados diferentes, delimitar las responsabilidades de cada municipio y de cada estado involucrado, para evitar duplicidades, optimizar recursos y sobre todo, no dejar desprotegida ninguna zona.
8. Con respecto a la coordinación institucional se requiere que se indiquen dentro de los PDUAH cuales son los

mecanismos de coordinación para que la zona federal pueda ser administrada por los municipios.

9. Es conveniente elaborar un manual sobre la identificación de zonas susceptibles de inundación, Atlas de Riesgo por Inundación, para que los encargados de hacerlo tengan un criterio uniforme al respecto, así como poner límite al período para la elaboración del Atlas de Riesgo de cada municipio o entidad federativa.
10. Se deberá indicar claramente en los PDUAH el control y la prevención de asentamientos humanos en zonas vulnerables o de riesgo, recurriendo a realizar inventarios de zonas vulnerables o de riesgo, el desarrollo de los sistemas de información geográfica, la proyección de las manchas urbanas y la investigación de las zonas de reserva y conservación, incluir apartados especiales en los PDUH sobre riesgos, considerar los aspectos de protección civil en obras y concientización pública, promover la creación de sistemas de alertamiento y promover programas especiales en sitios donde se requiere del control, prevención o reacomodo de asentamientos humanos.
11. En cuanto a los recursos económicos se deberán dejar claros los mecanismos y reglas de operación que aplicaran en casos especiales cuando por causa de desastres naturales se tenga que reubicar a la población. Así mismo se debe evitar tener una recurrencia al pago de apoyos por la recuperación por desastres



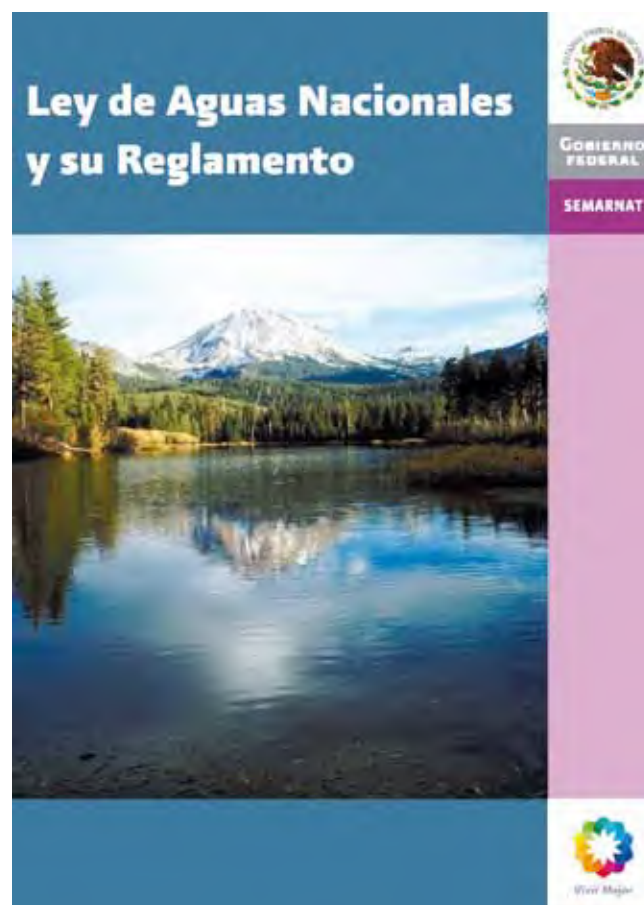
- naturales, en un mismo sitio, por invertir en acciones de prevención.
12. Se deberán prever también fondos para la reubicación de personas habitantes de zonas de riesgo, en tiempos normales, en función del grado de peligrosidad de la zona durante la época de avenidas.
  13. Se deberá fomentar una cultura de prevención y atención de emergencias en la población.
  14. Se propone que en los PDUAH, para la obtención de licencias de construcción en zonas cercanas a los cauces de los ríos, lagos, lagunas o cuerpos de agua, se tenga que recabar el visto bueno de la CONAGUA. Esto implica que dentro de la CONAGUA se deba desarrollar un procedimiento expedito para que se atienda esta situación en tiempo mínimo.
  15. Es necesario que los responsables de la infraestructura de los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y saneamiento, cuenten con planos de la infraestructura bajo su resguardo, para que se prepare el plan de operación de esa infraestructura bajo condiciones de emergencia y contar con herramientas que permitan recibir ayuda más oportuna si esa infraestructura llegara a sufrir daños y dejara de operar. En esos planos se debe incluir la identificación de fuentes alternas dónde colocar por lo menos una planta potabilizadora portátil mientras se restablece el servicio normal.
  16. Es conveniente que se uniformen las leyes de AHYDU en el sentido de contratar seguros de la infraestructura más vulnerable y la más costosa, con el fin de asegurar los recursos necesarios para su reposición en caso de un desastre.
  17. Respecto a las leyes de Protección Civil, es conveniente uniformar la nomenclatura utilizada en las leyes, principalmente con lo que tiene que ver con el concepto de riesgo y con las declaratorias de desastre, ya que algunos estados manejan diferentes niveles de declaratoria para estar en posibilidad legal de solicitar recursos al estado o a la federación.
  18. Es conveniente también, establecer en todos los casos la declaratoria de fin de la emergencia, principalmente para que la población esté consciente de que puede restablecer la normalidad de su vida cotidiana.
  19. Es conveniente que dentro de los consejos estatales de PC ó en las unidades municipales, o el nombre que tengan, exista un encargado de llevar una bitácora donde se asienten los pormenores de cada emergencia, para poder elaborar el informe de la misma, para contar con una historia detallada de las condiciones que se presentaron, las decisiones que se tomaron, las consecuencias de ellas, los recursos utilizados y proporcionar información para realizar una evaluación *expost* del plan de atención a la emergencia, con el fin de contar con retroalimentación para futuros eventos. Esta bitácora también servirá para indicar zonas de riesgo no detectadas en los Atlas de riesgo, para su incorporación al mismo.
  20. Es necesario que en los planes de evacuación preparados por el personal de PC, se incluya un censo de personas con capacidades diferentes, con su ubicación y los requerimientos para su traslado, con el fin de que al momento de una emergencia, se proporcione el apoyo indicado a cada uno de ellos, incluso mediante el envío de ambulancias si fuera necesario.
  21. Dado que las leyes de la mayoría de los estados aprueba y promueve el desarrollo de simulacros, es conveniente la preparación de un instructivo sobre cómo llevar a cabo un simulacro de una inundación, con el objeto de uniformizar el grado de dificultad y el aprendizaje del mismo.
  22. En el caso específico de Jalisco, se recomienda eliminar el cobro de las cuotas por los servicios de Protección Civil, pues en un evento no se podrá discriminar quién puede pagar dicha cuota.
  23. La CONAGUA deberá promocionar y realizar las acciones de coordinación necesarios para dar a conocer o establecer los sistemas de pronóstico y alerta contra inundaciones y demás planes regionales mencionados en el artículo 128 del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.
  24. En situaciones de emergencia, cuando un río o arroyo ha sido fuertemente dañado, dejando gran cantidad de material acumulado que puede desviar el flujo para poner en peligro a otra zona del mismo río, la CONAGUA podría invitar a los extractores de material de la zona para que mediante el uso de su maquinaria y a su costa, extraiga material sin que eso le ocasiona una disminución en su cuota de extracción ni mucho menos el pago de los derechos de extracción, siempre con la vigilancia de la propia CONAGUA.
  25. La CONAGUA debe trabajar arduamente y de ser posible con el apoyo de los municipios, para que de

acuerdo con la Fracción V del Artículo 115 constitucional: "V. Los Municipios, en los términos de las leyes federales y estatales relativas estarán facultados para: (...) i) celebrar convenios para la administración y custodia de las zonas federales", se lleve a cabo la delimitación y desincorporación de la zona federal de los ríos y arroyos que pasan dentro del polígono de las poblaciones y lo entregue para su administración a los municipios, propiciando así que haya una autoridad más cercana para vigilar el buen uso de dichas zonas y evitar futuros problemas durante las inundaciones.

## Adecuaciones a la Ley de Aguas Nacionales

Proponer adecuación de Ley de Aguas Nacionales y leyes estatales y municipales que señale:

1. Prohibir la ocupación de terrenos para vivienda donde el binomio velocidad-tirante sea mayor a  $2 \text{ m}^2/\text{s}$  para la creciente de 100 años de período de retorno. La alternativa es fomentar el uso de reservas horizontales y equipamiento urbano de uso común recreativo no habitable.
2. Considerar como delito penal quien intervenga favorablemente, fomenta, venda, intercambie o promueva el desarrollo de vivienda en zona inundable para crecientes ordinarias, en la zona negra o donde el binomio H-V para 100 años sea mayor a dos, bajo la consideración de atentar contra la vida de personas.
3. El calificativo de zona negra, zona inundable o donde el binomio  $H-V > 2$  para  $TR = 100$  años, no despoja de la propiedad a los dueños de los terrenos, sólo restringe el uso.
4. El binomio velocidad-tirante es la cantidad de movimiento que lleva el flujo del agua, puede ser suficiente no sólo para inundar, sino para arrastrar seres humanos, derrumbar estructuras ligeras incluso estructuras más formalmente establecidas.
5. Los terrenos susceptibles a inundarse, pero también proclives a alguna actividad productiva, deberán obligarse a adquirir un seguro con cargo al propietario o usufructuario de la actividad.
6. Para crecientes mayores, **todas** las ciudades o zonas productivas **deben** tener e identificar zonas fusibles, a donde se fomentará el drenaje de las crecientes de mayor período de retorno.
7. Se declare de interés público la asignación de zonas fusibles para alojar y drenar inundaciones asociadas a 100 años de período de retorno, si su destino permite dejar de inundar áreas densamente pobladas (disyuntiva de cambiar el uso del suelo de algún terreno, de "habitabile" por el de "inundable").
8. En las planicies de inundación en ríos meándricos o en abanicos aluviales se establecerá una zona negra (zona de divagación de un río o cambio de curso). En ella no se permitirá desarrollar infraestructura permanente, al contrario la infraestructura debe servir para delimitar físicamente la "zona negra". Dentro de ella se podrán sostener actividades con fines productivos, siempre y cuando esté asegurada.
9. Se fomentará el desarrollo de infraestructura caminera, de conducción de líquidos, puentes y bordos de protección contra inundaciones, que privilegien el drenaje rápido de las crecientes, más que la retención de volúmenes derivado de una regulación de crecientes.



## Recomendaciones generales

- Promover un órgano colegiado “comisión” con atribuciones, capacidad técnica y financiera, de carácter interinstitucional, que de manera permanente monitoree, implemente planes de prevención y aplique medidas en caso de contingencias derivadas de fenómenos hidrometeorológicos.
- Prever la posibilidad de tipificar como delitos, ciertas conductas que por sí mismas ponen en riesgo la seguridad de la infraestructura hidráulica y de las personas, como son la obstrucción del cauce, obstrucción de vertedores de presas, realizar construcciones dentro de cauces de los ríos de que puedan afectar su curso con riesgos para la población, pues independientemente de que con estas actividades se produzca una contingencia, se provoca un riesgo para la población y los bienes nacionales.
- En el mismo sentido, se deben identificar y tipificar conductas cometidas por la población civil, que en desacato a las autoridades se nieguen a abandonar las zonas de riesgo en casos de inminente peligro, sin perder de vista el derecho de estar en propiedad privada.
- Coordinarse con municipios y estados para evitar que se tire basura en cauces y barrancas y con ello se causen daños a la infraestructura de aguas nacionales, como azolve, o se potencien las inundaciones o dañe la infraestructura.
- Para la emisión de licencias de construcción, en zonas francamente federales o en lugares cercanos a algún tipo de infraestructura hidráulica, se debería pedir a la Comisión Nacional del Agua su visto bueno, para lo cual deberá estructurarse e implantarse un procedimiento expedito al respecto.
- Programa especial para el desalojo de personas con alguna desventaja en el que se indiquen incluso las rutas seguras o se asegure el que haya vehículos especialmente equipados para evacuar a esas personas. Si no se puede un programa especial, por lo menos incluir un apartado en los programas normales.

# Anexos

## Anexo 1. Cobertura cartográfica

### Cartografía digital, coberturas de las cartas topográficas en diferentes escalas

Escalas	Nacional	SIGA	%
1:250 000	129	129	100
1:50 000	2334	2053	88
1:20 000	28000	14100	50
1:5000 (154 ciudades)	154	154	100

Para obtener más detalles se podrán consultar los índices en la Geobase de Datos Institucional del Agua (GeoAGUA) en la siguiente dirección de Intranet:

- <http://ce0005s001/Website/Consulta50k/viewer.htm>

A continuación se muestran imágenes de los índices del acervo cartográfico digital de la CONAGUA que administra la SIGA (figuras 1, 2 y 3).

Figura 1. Índice de cartas topográficas escala 1:250,000 (cobertura nacional 100%)

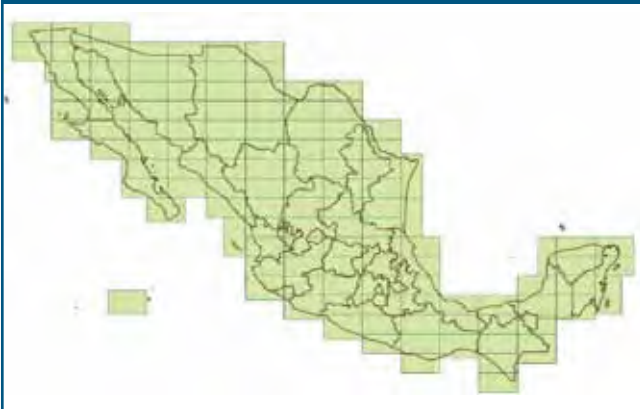
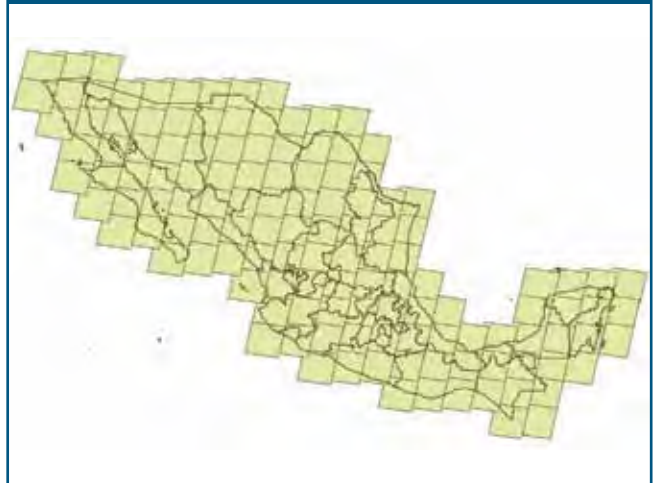


Figura 2. Índice de cartas topográficas escala 1:50,000 (cobertura nacional 88%)



Figura 3. Índice de imágenes de satélite, sensor LANDSAT (cobertura nacional 100%, año 2000)



## Anexo 2.

# Lineamientos cartográficos

Los lineamientos cartográficos deberán ser utilizados por aquellas personas que elaboren o manejen la información geográfica como un insumo de los Programas de Control de Inundaciones.

Se tienen detectados 3 tipos de usuarios de mapas e información geográfica:

1. Los usuarios que necesitan consultar en forma sencilla y amigable la información geográfica a través de Internet o Intranet (internos y externos).
2. Los técnicos especializados que realizan procesos geográficos con la información, usuarios de ArcView, ArcINFO, ERDAS, ArcExplorer u otro *software* especializado.
3. Usuarios ejecutivos (autoridades de la CONAGUA) que hacen consultas para ver y analizar la evolución en una emergencia.

Todos ellos deben aplicar implícita o explícitamente estos lineamientos.

### Formatos de mapas

Formatos que se deben de utilizar para el almacenamiento de información geográfica (mapas):

#### 1. Geobase de Datos Institucional del Agua (GeoAgua) (información vectorial)

La Comisión Nacional del Agua tiene como parte de su infraestructura informática la Red Nacional de Datos (RND), la cual permite tener acceso y conexión a un número aproximado de 10,000 computadoras interconec-

tadas en Direcciones Locales, Organismos de Cuenca y Oficinas Centrales en la República Mexicana.

Para utilizar esta infraestructura informática, la SIGA tiene habilitada una herramienta llamada Geobase de Datos GeoAgua, que tiene almacenado gran número de mapas de diferentes temas con características similares en sistema de coordenadas, proyección cartográfica y metadatos.

#### Acciones

Se necesita realizar la conexión a la GeoAgua en las diferentes áreas técnicas de la CONAGUA (DL, OC, OFC) las cuales tengan disponible el *software* Arcview en versión 9.0 en adelante, con ello se garantiza que todas estas áreas tengan acceso a la Geobase de datos, ver procedimiento en la dirección:

- [http://ce0005s003/SINA\\_WEB/back/docs/Procedimiento.ppt](http://ce0005s003/SINA_WEB/back/docs/Procedimiento.ppt)

#### 2. Formato *shape file* (información vectorial)

Se recomienda uniformar los formatos de mapas que por alguna razón no tengan acceso a la Geobase de datos, por ello el único formato utilizado será el denominado *shape* este formato es uno de los más utilizados dentro de la instituciones de gobierno, así como por instituciones educativas, con ellos se garantiza el intercambio de información relevante de un evento.

Todos los Sistemas de Información Geográfica tienen forma de leer este tipo de formato de mapas. En la [tabla 1](#) se presenta un ejemplo de archivos para mapas de regiones hidrológicas en escala 1:250 mil en este formato.

#### Acciones

Para evitar en general la incompatibilidad de formatos de mapas utilizados dentro de emergencias dentro de la CONAGUA, se recomienda utilizar este formato, claro está siempre y cuando no se tenga acceso a la Geobase de da-

Nombre de archivo	Fecha	Hora	Formato	Tamaño
Regiones_hidrológicas_250.dbf	2/18/2008	11:52 AM	Archivo DBF	4 KB
Regiones_hidrológicas_250	2/13/2008	9:46 AM	Archivo PRJ	1 KB
Regiones_hidrológicas_250.sbn	2/18/2008	11:52 AM	Archivo SBN	1 KB
Regiones_hidrológicas_250.sbx	2/18/2008	11:52 AM	Archivo SBX	1 KB
Regiones_hidrológicas_250.shp	2/18/2008	11:52 AM	Archivo SHP	5 193 KB
Regiones_hidrológicas_250.shp	2/13/2008	9:46 AM	Documento XML	24 KB
Regiones_hidrológicas_250.shx	2/18/2008	11:52 AM	Archivo SHX	1 KB



tos Institucional del Agua GeoAgua, que es otro tipo de estructura de datos geográficos.

### 3. Información tipo raster

Dentro de las emergencias, es muy común el uso de imágenes de satélite (diferentes sensores), modelos digitales de elevación, ortofotos digitales, fotografías, cartas escaneadas; a este tipo de información se le denomina tipo *raster*, ya que la estructura de datos es diferente a la vectorial, esta información es una malla de celdas con características propias y esta se almacena en forma diferente a la vectorial.

Es importante de mencionar en este tipo de formato el almacenamiento requerido en los equipos de cómputo es muy grande, a la fecha estos espacios rebasan los espacios disponibles en las computadoras estándar, es necesario prever y estimar con mucho cuidado este espacio en disco y lo correspondiente para su respaldo, ya sea en cinta magnética o en disco duro.

#### Acciones

Para garantizar el uso e intercambio de información *raster* entre diferentes áreas técnicas de la CONAGUA, se requiere manejar este tipo de información en determinados formatos que permitan la visualización, intercambio y manejo dentro de los Sistemas de Información Geográfica. Los formatos que se recomienda utilizar son:

- Formato GRID de ArcINFO
- IMG de ERDAS
- TIFF
- JPG
- GIF
- SID (formato compactado)

Este tipo de formatos son los más utilizados, cabe mencionar que todos y cada uno de ellos deberán estar georreferenciados es decir se podrán sobreponer sobre otro tipos de información geográfica.

### 4. Sistema de coordenadas y proyecciones cartográficas en los mapas

Para el manejo adecuado y lograr la sobreposición de diferentes tipos de información geográfica es importante que todos los mapas utilizados de los eventos de inundaciones tengan una ubicación geográfica, es decir, dentro de su estructura deberá estar garantizada su

georreferencia y una ubicación precisa dentro del contexto mundial.

#### Proyección Cónica Conforme de Lambert, (CCL)

La proyección Cónica Conforme de Lambert, es una proyección estándar que se utiliza para representar áreas cuya extensión en el sentido este-oeste es grande en comparación con la su extensión en el sentido norte-sur, es recomendable para latitudes medias. Los parámetros que definen la proyección Cónica Conforme de Lambert son un meridiano central, una latitud de referencia, y dos paralelos estándar. El meridiano central debe pasar por el medio de la región de interés, la latitud de referencia debe pasar por donde se considere que deba ubicarse el origen del sistema de coordenadas (generalmente en el centro o debajo de la extensión de elementos geográficos) como regla general, los paralelos estándar deben ubicarse a 1/6 de la parte superior y a 1/6 de la parte inferior de la extensión geográfica de elementos del mapa.

#### Especificaciones de la proyección CCL

- **Forma.** Todas las intersecciones gradiculares son de 90°, se mantienen las formas pequeñas.
- **Área.** Distorsión mínima cerca de los paralelos estándar, la escala real es reducida entre los paralelos estándar y se incrementa más allá de ellos.
- **Dirección.** Los ángulos locales son precisos en todas partes debido a la conformación.
- **Distancia.** Corregir la escala a lo largo de los paralelos estándar, la escala se reduce entre los paralelos y se incrementa más allá de ellos.
- **Límites.** Se obtienen mejores resultados para regiones predominantemente este-oeste en latitudes extendidas y localizadas, el rango total en latitudes no debe exceder los 35°.

Los trabajos elaborados en proyección Cónica Conforme de Lambert dentro de la CONAGUA deberán ser a nivel nacional o en los caso que la zona de trabajo estén dentro de dos zonas UTM; los parámetros cartográficos que se utilizarán para esta proyección están homologados con la cartografía del INEGI y de la SEMARNAT se muestran en la [tabla 2](#).

Se recomienda utilizar la proyección Cónica Conforme de Lambert en escalas "mayores" de 1:1 millón, es decir,

1:2 millones, 1:5 millones, 1:10 millones, etcétera. No se recomienda su uso a escalas "menores" a 1:1 millón, sólo aplicables a material de nivel nacional.

**Tabla 2. Parámetros cartográficos**

Meridiano central:	-102° 00' 00"	(-102.00)
Paralelo (latitud) de origen:	12° 00' 00"	(12.00)
Primer paralelo base:	17° 30' 00"	(17.5)
Segundo paralelo base:	29° 30' 00"	(29.5)
Falso este:	2 500 000.	
Falso norte:	0.00	

### Proyección Universal Transversal de Mercator, UTM

La proyección cartográfica que aquí se propone, es: Universal Transversal de Mercator (UTM) la cual fue aprobada por sus ventajas en la conferencia celebrada el mes de agosto de 1951 en la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, en Bruselas. Constituye el sistema de proyección más adecuado para su uso general hasta la latitud de 80° norte y sur, con franjas de 6° como límites para el mapa mundial, con un factor de escala para los meridianos centrales de 0.9996.

Al seleccionar la proyección UTM y su correspondiente sistema de coordenadas, se consideró en primer término que conserva el aspecto real del área, mantiene el verdadero valor de los ángulos y cumple con los siguientes puntos:

- El sistema de coordenadas tiene un mínimo de zonas o uniones para lograr la exactitud sin necesidad de tener que aplicar correcciones de escala.
- Limita la extensión de la zona de cuadrícula en sentido este a oeste para evitar que la divergencia del cuadrículado norte no sea mayor de 4°.
- La cuadrícula se adapta fácilmente a un sistema de referencia único para mapas y designación de puntos.

Para la asignación de parámetros en la proyección UTM, se deberá tener cuidado en la asignación de la zona UTM, ya que para definirla se tiene que ubicar el área de trabajo, dentro del país, tal como se muestra en la [figura 1](#) y en la [tablas 2 y 3](#).

**Figura 1. Zonas UTM del país**



**Tabla 3. Tabla de parámetros cartográficos para las zonas UTM del país**

Zona UTM	Meridiano central	Latitud de referencia	Factor de escala	Falso este	Falso norte
11	-117°	0.0000	0.99960	500 000	0.0000
12	-111°	0.0000	0.99960	500 000	0.0000
13	-105°	0.0000	0.99960	500 000	0.0000
14	-99°	0.0000	0.99960	500 000	0.0000
15	-93°	0.0000	0.99960	500 000	0.0000
16	-87°	0.0000	0.99960	500 000	0.0000

### Especificaciones de la proyección Universal Transversal de Mercator UTM

- **Proyección.** Transversa de Mercator tipo Gauss Krüger (Generalización de la Proyección normal de Mercator con eje transversal en la esfera al elipsoide, conociendo el eje del cilindro con el Ecuador). En zonas de 6° de amplitud.
- **Longitud de origen.** Meridiano central en cada zona, para la República Mexicana son 87°, 93°, 99°, 105°, 111°, 117° al oeste del meridiano de Greenwich.
- **Latitud de origen.** 0°, el Ecuador.
- **Unidad.** Metro.
- **Falsa ordenada.** Cero metros en el Ecuador para el hemisferio norte y diez millones de metros para el hemisferio sur.
- **Falsa abscisa.** 500,000 metros para el meridiano central de cada zona.
- **Factor de escala.** Para el meridiano central 0.9996.
- **Numeración de las zonas.** Comenzando con el número 1 para la zona comprendida entre los meridianos 180° W a 174° W y continuando hacia el este en numeración consecutiva hasta llegar al número 60 que corresponde a la zona situada entre los meridianos 174° E a 180°E.
- **Límites en latitud del sistema.** Norte 80° N, Sur 80° S.

La proyección de UTM es recomendable que se utilice en escalas "menores" de 1:000 000 mayor detalle, es decir 1:250 000, 1:50 000, 1:25 000, entre otras. En escalas de más de 1:1 000 000 no es recomendable.

### 5. Uso del datum

El *datum* es un conjunto de parámetros que especifican la superficie de referencia o el sistema de coordenadas de referencia empleado para el cálculo de coordenadas

de puntos en la Tierra. Por lo común, el *datum* se define como horizontal o vertical, separadamente. Para el uso práctico del *datum* es necesario contar con uno o más puntos bien registrados con coordenadas dadas en dicho *datum*. Para un *datum* geodésico local la superficie de referencia está definida por cinco parámetros: la latitud, y longitud de un punto inicial, el azimut de la línea desde este punto, y los parámetros de referencia del esferoide.

### 6. Uso del geoide

El geoide representa la figura física real de la Tierra, incluyendo su tamaño y forma. Se define como una superficie equipotencial, es decir, de igual gravedad, y su forma así creada supone la continuación de los mares y océanos en calma a través de los continentes.

Esta superficie resulta no uniforme debido en general, a las diferentes densidades dentro de la tierra.

Para solventar este problema de homogeneidad se establece una figura geométrica de más fácil manejo. Entonces se adopta el elipsoide de revolución como modelo matemático, ya que es la figura que más se aproxima en forma a la superficie de la tierra.

### 7. Datum WGS84

El acrónimo WGS84 deviene de World Geodesic System 1984 (Sistema geodésico mundial 1984). Se trata de un sistema de referencia creado por la Agencia de Mapeo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América (Defense Mapping Agency -DMA) para sustentar la cartografía producida en dicha institución y las operaciones del Departamento de Defensa (DoD).

Este sistema geodésico estuvo estrechamente ligado al desarrollo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) sirviendo durante mucho tiempo para expresar las

posiciones tanto de los puntos terrestres como de los satélites integrantes del segmento espacial (a través de las efemérides transmitidas).

Desde el punto de vista militar, WGS84 es el sistema oficial aprobado por la Junta de Comandantes en Jefe de los Estados Unidos de América para las operaciones militares en todo el mundo. Casi todo el equipamiento militar actual incluyendo sistemas de navegación y armamentos emplean de algún modo este sistema de referencia mundial.

El WGS84 se ha popularizado por el uso intensivo del GPS y se han determinado parámetros de transformación para convertir coordenadas a todos los sistemas geodésicos locales y a otros sistemas geocéntricos.

El WGS84 es un Sistema Convencional Terrestre (CTS) tal que:

- El origen de coordenadas X, Y, Z; es el centro de masas de la Tierra.
- El eje Z pasa por el polo convencional terrestre (CTP) definido por el Bureau Internacional de la Hora (BIH) para la época 1984.0.
- El eje X es la intersección entre el meridiano origen de longitudes definido por el BIH para la época 1984.0 y el plano del ecuador CTP.
- El eje Y completa con los ejes anteriores una terna derecha de ejes fijos a la Tierra, está en el Ecuador, a 90° al este del eje X.
- El origen de la terna así definida sirve de centro geométrico del elipsoide WGS84, y el eje Z es su eje de revolución, el semieje mayor (a) del elipsoide mide 6378137 metros el achatamiento (a-b)/a siendo b el semieje menor, es 1/298.257223563.

## 8. Datum ITRF92

El WGS84 no es el único sistema con cobertura mundial existen otros sistemas geodésicos de referencia del mismo alcance como el ITRF (International Terrestrial Reference Frame).

El ITRF para fines cartográficos es prácticamente igual al WGS84, sólo para cuestiones de investigación y trabajos geodésicos de gran precisión se consideran las pequeñas diferencias.

México en 1998 establece las reformas para las normas de levantamientos geodésicos de 1985 y en ellas establece que: todo punto perteneciente a un levantamiento geodésico horizontal, deberá estar referido al marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para el año 1992 con datos de la época 1988.0 y que se denomina ITRF92 Época 1988.0 que es el nuevo Sistema Geodésico de Referencia oficial para México.

Anteriormente en México se establecía como sistema de referencia el Datum Norte Americano de 1927 conocido como NAD27, este se apoyaba en el elipsoide de referencia de Clarke de 1866, sin embargo hoy en día este ha caído en desuso debido al surgimiento de *datums* con mayor precisión y al surgimiento de nuevos dispositivos para el cálculo de las dimensiones de la Tierra.

Una vez analizadas las ventajas y desventajas en el uso de proyecciones y sistemas de coordenadas, se puede crear una tabla de comparación entre los diferentes tipos de combinaciones en la cual puede estar la información geográfica digital generada y utilizada para los eventos de inundaciones, En la [tabla 4](#) se muestran las combina-

**Tabla 4. Uso de Proyecciones y *datums* cartográficos**

Sistema de coordenadas utilizadas en México	Unidades de medida	Datum	Esferoide	Observaciones
Geográficas	Décimas de grado	NAD83 WGS84 ITRF92	GRS80 WGS84 GRS80	Muy importante: La información que tiene estas características carece de elementos para calcular áreas, perímetros y longitudes.
UTM	Metros	NAD83 WGS84 ITRF92	GRS80 WGS84 GRS80	La información cartográfica utilizada en los eventos de inundaciones deberá contener estas características geográficas.
Cónica Conforme de Lambert (CCL)	Metros	NAD83 WGS84 ITRF92	GRS80 WGS84 GRS80	La información cartográfica utilizada en los eventos de inundaciones deberá contener estas características geográficas.

Nota: El datum NAD27 con el esferoide Clarke 1866 ya no está en uso, debido a lo anterior no deberá, en lo posible, usarse en proyectos cartográficos dentro de CONAGUA.

ciones de estos parámetros y recomendaciones para su aplicación.

La información geográfica digital (mapas, modelos digitales de elevación, ortofotos digitales, cartas escaneadas, imágenes de satélite y coordenadas obtenidas en GPS) deberá estar georreferenciada en alguna de las dos proyecciones (UTM y Cónica Conforme de Lambert, según sea el caso y deberá estar referida con el *datum* ITRF92 según marca la norma cartográfica del INEGI o con su similar WGS84 para el caso de usuarios de *software* de la empresa ESRI (ArcGIS: Arcview, ArcINFO).

### 9. Coordenadas geográficas

En el caso de información puntual, se deberán convertir las coordenadas geográficas a coordenadas en décimas de grado. En la **fórmula 1** se muestra como convertir grados geográficos a grados con decimales.

**Fórmula 1. Conversión de grados geográficos a grados decimales y ejemplos de conversión:**

Grados con decimales =	Grados +	Minutos /60	+ Segundos /3600	Resultado
-99° 30' 25.5"	-99° +	30'/60	+ 25.5"/3600	= -99.5070
-99° 15' 30.9"	-99° +	15'/60	+ 30.9"/3600	= -99.2585
-99° 45' 26.8"	-99° +	45'/60	+ 26.8"/3600	= -99.7574

## Anexo 3. Recomendaciones para usar *software* ArcGIS en la elaboración de mapas

Autocad es un *software* que permite el dibujo de puntos, líneas y polígonos en un sistema de coordenadas X, Y (un plano con dos ejes) con un origen arbitrario y en esto es muy eficiente, inclusive ha mantenido a la fecha un liderazgo entre las herramientas denominadas Computer Aided Design (CAD).

Es muy útil para el dibujo de planos arquitectónicos, de urbanizaciones y de ingeniería tanto civil como mecánica y electrónica, en los cuales la curvatura de la tierra no impacta en la precisión de las distancias y superficies calculadas en el sistema cartesiano. En la CONAGUA ha sido y es muy utilizado para elaboración de planos de proyectos ejecutivos de obras de infraestructura hidráulica.

A pesar de que se pueden diferenciar capas que corresponden a los diferentes tipos de elementos de un plano; los puntos, líneas y polígonos no tienen asociados datos o atributos que permitan distinguirlos o seleccionarlos unos de otros, en otras palabras no se pueden manejar a través de una base de datos.

Sin embargo a pesar de esta limitación el *software* AutoCad ha sido empleado en la elaboración de mapas, que visualmente ofrecen una representación razonable de la zona en estudio, no obstante no contienen las características cartográficas esenciales, como son un sistema de coordenadas, el *datum*, sistema de proyección y la escala, dicho de otra forma no está debidamente georreferenciado y el cálculo de distancias y superficies arroja desplazamientos o errores que pueden ser de 20 a 80 km según sea el caso, lo cual es inadmisibile cuando está comprometida la precisión y calidad de la información geográfica. En todo caso estos dibujos no son más que meros croquis sin georreferencia, como sucede con un "mapa" de la Guía Roji.

Está limitación para georreferenciar los rasgos geográficos, se hace más evidente cuando se trata de empalmar elementos elaborados con Autocad por fuentes



distintas, o se trate de archivos distintos elaborados por el mismo dibujante. Por ejemplo: los límites de un estado no encajan perfectamente con el del estado vecino cuando están dibujados en diferentes archivos. La continuidad de las líneas que representan carreteras o ríos no guardan continuidad entre un plano y otro (si fueron dibujados en diferentes capas implica mayor dificultad su acoplamiento).

Esto no sucede así en el caso de mapas elaborados con sistemas de información geográfica (GIS por sus siglas en inglés), que son herramientas de *software* que utilizan un sistema de coordenadas geográficas, un *datum*, un sistema de proyección y una escala fuente para representar los rasgos geográficos

De esta manera los mapas elaborados con GIS permiten representar generalmente grandes extensiones de la zona en estudio, por ejemplo: una región hidrológica o una cuenca, donde es necesario considerar el efecto de la curvatura de la tierra para el cálculo de distancias y superficies. Adicionalmente en este caso los puntos, líneas y polígonos sí están asociados cada uno con su correspondiente registro en una base de datos en la que se almacenan sus atributos.

Se ha comprobado que las operaciones de álgebra de mapas se hacen más rápidamente, con la precisión y calidad requerida, con el *software* GIS que con AutoCad (álgebra de mapas: traslape, acoplamiento, mosaicos, acercamientos, alejamientos, selección de capas, filtrado de rasgos, entre otros) de esta manera la SIGA entrega en tiempo y forma los mapas requeridos por sus usuarios incluida la Dirección General. Por esta razón en la Subgerencia de Información Geográfica del Agua no se utiliza AutoCad para la elaboración de mapas, y tampoco cuenta con experiencia ni licencias de AutoCad.

De esta manera es recomendable que la elaboración de mapas, donde se representan los elementos hidrológicos comúnmente utilizados en la CONAGUA, se hagan con un *software* GIS como puede ser ArcGIS o ArcView.

Todo lo anterior nos obliga a recomendarle a nuestros compañeros de los Organismos de Cuenca y de las Direcciones Locales que dejen de utilizar AutoCad para la elaboración de mapas y así evitar los tropiezos como la dificultad para hacer un mosaico con varios mapas elaborados con AutoCad.

Por supuesto esto implica migrar los mapas en formato AutoCad a formato *shp* de ArcView, a fin de

agilizar la elaboración de mapas sin importar quien ni donde se elaboró.

Cabe mencionar que las habilidades del personal de cada oficina obliga a desahogar las tareas con las herramientas disponibles, como es el caso de AutoCad, por consiguiente también será necesario recomendar la capacitación de personal en el uso de las herramientas GIS, así como la adquisición de licencias y de las computadoras apropiadas para estas tareas.

## Anexo 4.

# Obtención de coordenadas mediante dispositivos GPS

1. Cuando se trate de ubicar el polígono de afectación del evento de inundación se recomienda el uso de receptores GPS para obtener las coordenadas de cada vértice.
2. Se deberán realizar sesiones de 60 segundos como mínimo en cada vértice o punto de inflexión del polígono correspondiente de la zona inundada.
3. El Sistema de Coordenadas o Sistema de Referencia a utilizar deberá estar basado en el Elipsoide WGS84 invariablemente; de forma tal que se le deberá informar al personal de campo o usuarios de los receptores GPS para que configuren las unidades con los parámetros respectivos. En caso de duda, consultar al personal responsable de la Unidad del SIGA del Organismo de Cuenca respectivo.
4. Cuando se utilicen receptores GPS del tipo diferencial que permiten el ingreso de atributos o bases de datos, la estructura mínima a incorporar a las coordenadas del polígono será:

V	OC	MPIO	T_GPS	FECHA	OBS

- donde:
  - V: número consecutivo del vértice del polígono. Indicar un valor entero.
  - OC: Organismo de Cuenca. Indicar el número entero del organismo correspondiente.
  - MPIO: municipio en el que se encuentra el polígono principalmente o más representativo. De preferencia, anotar en valor de texto el nombre completo del municipio.
  - T\_GPS: tipo de receptor GPS utilizado. Aquí especificar si se trata de un Garmin, un ALTO G12, un GS20 de Leica u otro. También en valor alfanumérico.
  - FECHA: inicio de fecha del levantamiento. Valor alfanumérico.

- OBS: observaciones, cualquier dato relevante que se considere incorporar. Valor alfanumérico.

Nota: esta estructura se encuentra disponible para su uso en receptores GPS ALTO G12 y GS20 de Leica en la dirección: [ftp://172.29.150.163/Jefaturas/GPS\\_GIS/tools](ftp://172.29.150.163/Jefaturas/GPS_GIS/tools)

5. Todos los trabajos realizados con los receptores deberán ser exportados con el software correspondiente a cobertura ShapeFile del *software* ArcView para Sistemas de Información Geográfica. Para mayor información, consulte las presentaciones depositadas en [ftp://172.29.150.163/Jefaturas/GPS\\_GIS/tools](ftp://172.29.150.163/Jefaturas/GPS_GIS/tools)
6. Las coberturas o capas de información generadas en formato ShapeFile deberán ser nombradas de forma sencilla para que el nombre elegido sea lo más descriptivo posible para cualquier persona que las consulte, por ejemplo: `inunda_huixtla001.shp`
7. Como forma de comprobación de la precisión obtenida en la obtención de las coordenadas del polígono levantado, se sobrepondrán las ortofotos escala 1:20,000 como máxima escala; para ello, consulte la sección de insumos cartográficos necesarios a recopilar en este mismo manual.
8. Cuando se utilicen receptores GPS del tipo diferencial que permiten el ingreso de atributos o bases de datos, la estructura mínima a incorporar a las coordenadas del polígono será:

V	OC	MPIO	T_GPS	FECHA	OBS

- donde:
  - V: número consecutivo del vértice del polígono. Indicar un valor entero.
  - OC: Organismo de Cuenca. Indicar el número entero del organismo correspondiente.
  - MPIO: municipio en el que se encuentra el polígono principalmente o más representativo. De preferencia, anotar en valor de texto el nombre completo del municipio.
  - T\_GPS: tipo de receptor GPS utilizado. Aquí especificar si se trata de un Garmin, un ALTO G12, un GS20 de Leica u otro. También en valor alfanumérico.
  - FECHA: inicio de fecha del levantamiento. Valor alfanumérico.

- OBS: observaciones, cualquier dato relevante que se considere incorporar. Valor alfanumérico.
- Nota: esta estructura se encuentra disponible para su uso en receptores GPS ALTO G12 y GS20 de Leica en la dirección: [ftp://172.29.150.163/Jefaturas/GPS\\_GIS/tools](ftp://172.29.150.163/Jefaturas/GPS_GIS/tools)
9. Todos los trabajos realizados con los receptores deberán ser exportados con el *software* correspondiente a cobertura ShapeFile del *software* ArcView para Sistemas de Información Geográfica. Para mayor información, consulte las presentaciones depositadas en: [ftp://172.29.150.163/Jefaturas/GPS\\_GIS/tools](ftp://172.29.150.163/Jefaturas/GPS_GIS/tools)
  10. Las coberturas o capas de información generadas en formato ShapeFile deberán ser nombradas de forma sencilla para que el nombre elegido sea lo más descriptivo posible para cualquier persona que las consulte, por ejemplo: `inunda_huixtla001.shp`
  11. Como forma de comprobación de la precisión obtenida en la obtención de las coordenadas del polígono levantado, se sobrepondrán las ortofotos escala 1:20,000 como máxima escala; para ello, consulte la sección de insumos cartográficos necesarios a recopilar en este mismo manual.

## Anexo 5. Especialistas en SIG de la CONAGUA

- **OCPBC**  
**Ing. Ma. Guadalupe Félix González**  
Jefe del Depto. de Sistemas de Información Geográfica del Agua SIG@,  
Dirección de Programación,  
Reforma y Calle L s/n  
Colonia Nueva, Mexicali, B.C. C.P. 21100  
Ubicación Geográfica: Lat. 32° 40',  
Long. 115° 27' 27"  
Tel. (686) 551-6400 ext 1640  
Tel. I.P. 7-686-1640  
[guadalupe.felix@conagua.gob.mx](mailto:guadalupe.felix@conagua.gob.mx)
- **OCRB**  
**Lic. Laura Patricia Rodríguez Cavazos**  
Especialista en Hidráulica  
Dirección de Programación  
Av. Constitución 4103 Ote, Col. Fierro  
64590 Monterrey, Nuevo León  
[laura.rodriguez@conagua.gob.mx](mailto:laura.rodriguez@conagua.gob.mx)
- **OCGN**  
**Ing. Gustavo Abundís Hernández**  
Especialista en Hidráulica  
Dirección de Programación  
Lib. Emilio Portes Gil num. 200,  
Col. Miguel Alemán, C.P. 87030  
Cd. Victoria, Tamaulipas  
Tel IP 7834 Ext 1640  
01-834-31-59180  
[gustavo.abundis@conagua.gob.mx](mailto:gustavo.abundis@conagua.gob.mx)
- **OCGC**  
**Máximo Mora Pérez**  
Especialista en Hidráulica  
Dirección de Programación  
Francisco Clavijero N° 19, piso 4  
Col. Zona Centro. Jalapa, Ver.  
[maximo.mora@conagua.gob.mx](mailto:maximo.mora@conagua.gob.mx)

- **OCPN**  
**José Manuel Heras Beltrán**  
 Jefe de Proyecto Dirección de Programación  
 Av. Federalismo y Blvd. Culiacán S/N  
 Col. Recursos Hidráulicos. Culiacán, Sin.  
 Tel. (667) 713-65-67, 715-3149  
 VoIP (667) 1630  
 jose.heras@conagua.gob.mx
- **OCCCN**  
**Ing. Antonio Mata Maravilla**  
 Enlace Informático  
 Calz. Manuel Avila Camacho 2777 Ote  
 Torreón, Coahuila  
 (871) 747 9494 al 99, ext 1140  
 antonio.mata@conagua.gob.mx
- **OCFS**  
**Ing. Yrma Ysela Cetina Hernández**  
 Especialista en Hidráulica  
 Enc. del Sistema de Información Geográfica del Agua  
 Dirección Técnica  
 Carretera a Chicoasén km 1.5 Fracc. Los Laguitos  
 Tel. (961)-6021212  
 IP 7961 - 1640
- **OCPY**  
**Ing. José Luis Luna Pérez**  
 Jefe de Departamento  
 jose.luna@conagua.gob.mx  
**Wilbert Emir García Gómez**  
 Especialista en Hidráulica  
 wilbert.garcia@conagua.gob.mx  
 Dirección Técnica  
 Calle 59-B No. 238 x 116 y Av. Zamna Col. Bojorquez  
 C. P. 97230 Mérida, Yucatán.  
 Tel: (999) 945-0935  
 Fax: (999) 945-2566  
 I.P. (7-999) 1640
- **OCVM**  
**Ing. Rodolfo Vite González**  
 Especialista en Hidráulica  
 Dirección de Programación  
 Av. Río Churubusco N° 650, piso 4 ala norte  
 Col. Carlos A. Zapata Vela  
 Iztacalco, México, D.F.  
 rodolfo.vite@conagua.gob.mx
- **DI Nay**  
**Nicandro Villagrana Villagrana**  
 Enc. de Dictaminación y Titulación  
 Subdirección de Administración del Agua
- **Oficinas Centrales**  
 Subgerencia de Información Geográfica del Agua  
 Gerencia de Aguas Subterráneas  
 Subdirección General Técnica  
 Insurgentes Sur 2416, Col. Copilco el Bajo  
 Coyoacán, México, D.F. 04340  
 Piso 5  
**Ing. Gabino Gaspar Monterrosa Reyes**  
 Tels. 5174 – 4521 y 22  
 5174 – 4000 ext 1786, 1787  
 IP 7555 - 4422  
 gaspar.monterrosa@conagua.gob.mx  
**Lic. Ma. Elena del Carmen Lagos Santoyo**  
 Jefe de Proyecto de Metadatos Geográficos del Agua  
 5174 - 4523 y 5174 – 4000 ext. 1170  
 IP 7555 – 4425  
 maria.lagos@conagua.gob.mx  
**Ing. Francisco Javier Castillo Alanis**  
 Jefe de Proyecto de Georreferenciación de la  
 Infraestructura Hidráulica  
 5174 – 4526 y 5174 – 4000 ext. 1792  
 IP 7555 – 4445  
 francisco.castillo@conagua.gob.mx  
**Geog. Alejandro Díaz Ponce**  
 Jefe de Proyecto de Cartografía Digital del Agua  
 5174 – 4524 y 5174 – 4000 ext. 1790  
 IP 7555 – 4444  
 alejandro.diaz@conagua.gob.mx  
**M. en C. Carlos Raúl Montaña Espinosa**  
 Jefe de Geobase de Datos y Publicación Web  
 5174 – 4000 ext. 1789, IP 7555 – 4446  
 carlos.montano@conagua.gob.mx  
**Ing. Julio Martínez Muñoz**  
 Especialista en Hidráulica  
 5174 – 4525 y 5174 – 4000 ext. 1791  
 IP 7555 – 4460  
 julio.martinez@conagua.gob.mx

## Anexo 6.

### Equipos de geoposicionamiento disponibles

Marca	Costo aprox	Características	Proveedores alternativos	Disponibilidad (*)	Observaciones
CORVALLIS/ ALTO G12	3850 USD + iva	Receptor para aplicaciones cartográficas, una sola frecuencia (L1), procesamiento diferencial, precisión máxima de 1m en posición horizontal (x, y) y el triple del error incluso en posición vertical (z). Captura de atributos para sistemas de información geográfica.	Rosbach de México, Niveles S.A. de C.V.	6 equipos distribuidos en los 13 Organismos de Cuenca y 2 más en SIGA Central	Equipos funcionando a pesar de llegar a su límite de media útil, ya que fueron adquiridos a finales del 2000.
LEICA GEOSYSTEMS/ GS20	7900 USD + iva	Receptor para aplicaciones cartográficas, una sola frecuencia (L1), procesamiento diferencial, precisión máxima de 1m en posición horizontal (x, y) y el triple del error incluso en posición vertical (z). Captura de atributos para sistemas de información geográfica.	Sistemas y Servicios para Topografía, S.A. de C.V. El Tránsito, S.A. de CV. Top-Paper Comp, S.A. de C.V. Grupo Requiez, S.A. de C.V.	20 receptores gps distribuidos en: OCPBC, DLBCS, DLNAY, OCRB, OCCCN, OCGN, OCGC, OCFS, OCPY, OCAVM y Gerencia de Aguas Subterráneas	10 de esos equipos adquiridos en renta a finales del 2007. Los restantes se adquirieron en 2005 y son propiedad de CONAGUA.

(\*)NOTA: Los Organismos de Cuenca se han encargado de administrar a través de la SIGA el préstamo/resguardo de los equipos mencionados, por lo que es muy dinámica la ubicación de los equipos, que pueden incluso estar en alguno de los estados adscritos al ámbito de competencia del Organismo.



# Anexo 7.

## Equipo de cómputo recomendable para el manejo de información geográfica

Cabe mencionar que la infraestructura de cómputo con que cuenta la CONAGUA es de vanguardia, ya que actualmente podemos usar servicios de red que encontramos en las organizaciones tecnológicamente avanzadas, como son: archivos compartidos por grupos de trabajo, correo electrónico, Internet e Intranet, videoconferencia, y otros que nos protegen de los intrusos a la red y a nuestras computadoras, la distribución de *software* de forma automatizada, entre otros. Dichos servicios son proporcionados y vigilados por la Gerencia de Informática y Telecomunicaciones, por esta razón todo lo relacionado con servicios de red deberá ser tramitado con la GIT o con el enlace informático correspondiente.

En cuanto a equipo de cómputo se deberá considerar que es necesario disponer de un equipo robusto, es decir, con amplia capacidad de procesamiento, de memoria, de despliegue gráfico, de almacenamiento, de transferencia de datos ya sea por la red o por medios optomagnéticos, de esta manera se recomiendan las siguientes especificaciones mínimas.

### Computadora geográfica

- 2 procesadores Zeon de 3.4 Mhz.
- 1 memoria de 4 Gb.
- 1 disco duro de 1 Tb.
- 1 tarjeta de video Nvidia Quadro FX 4500 con 1 Gb de memoria.
- 1 tarjeta de red 1000/100.
- 2 unidades de DVD W/R.
- 3 puertos USB.
- 1 set de puertos: serial, paralelo, audio.
- 1 monitor plano de 24" de 1620 x 1200
- 1 sistema operativo Windows, última versión.

- 1 paquete Office Enterprise (Word, Excel, Power Point, Access).
- 1 set de *software*: Project, Visio, Winzip, Adobe PDF, Antivirus.

### Periféricos

Los más útiles son aquellos que permiten la impresión de mapas o la transferencia de información geográfica a través de la red o por medios optomagnéticos, también es importante considerar el respaldo de los datos, que a la fecha ya no resulta una cuestión trivial, ya que los discos duros cada vez son de mayor capacidad y su respaldo requiere de tiempo y medios magnéticos.

De esta manera se deberán considerar los siguientes equipos periféricos:

### Impresión

- Impresora láser.
- Impresora color.
- Graficador (plotter o impresora de gran tamaño).

### Transferencia de información y respaldo

- DVD W/R.
- Disco duro externo de al menos 1 Tb.
- Escáner (scanner) de cama plana.
- Escáner (scanner) de tambor.

De la lista anterior debe considerarse que los equipos de impresión normalmente ya existen y se pueden compartir por la red. En el caso de los DVD son equipos que debe incluir la computadora. En el caso del escáner (scanner), son dispositivos optativos pero muy útiles para digitalizar documentos y mapas. Los discos duros externos permiten transportar grandes volúmenes de información, por ejemplo: los modelos digitales de elevación del Río Bravo alcanzan un tamaño total de 3 Tb, su transporte en disco duro externo es lo más eficiente.

En cuanto a proveedores se deberá acudir a los que estén disponibles localmente y además en el caso de adquisiciones normalmente se realizan de manera consolidada por la GIT a través de procedimientos de licitación pública. Debe tomarse en cuenta que la normatividad vigente obliga a contratar el servicio de arrendamiento de estos equipos hasta por 36 meses, es necesario prever su cambio un año y medio antes de que venza el contrato,

en ese momento el proveedor retirará su equipo, ya que no hay opción a compra.

Los costos varían con el tiempo y la tecnología, de esta manera cada año la GIT distribuye un catálogo de precios de equipo de cómputo y periféricos para estimación de presupuestos, será conveniente consultar ese catálogo con la GIT o con el enlace informático correspondiente.

## Anexo 8. Software necesario para el manejo de información geográfica

Usuario	Licencia sin costo	Licencia por computadora	Licencia por servidor	Costo (USD)
Sólo consulta	ArcExplorer ArcReader			
Básico		ArcGIS para PC		1 500
Intermedio		Extension Spatial Analyst		3 000
		Extension 3D Analyst		3 000
		Extension Tracking Analyst		3 000
Avanzado		ArcGIS Desktop		4 500
		Extension Spatial Analyst		3 000
		Extension 3D Analyst		3 000
Publicación web			MS SQL	2 000
			ArcSDE	15 000
			ArcIMS	16 500
Manejo de imágenes de satélite		ERDAS advantage		7 000

Cabe mencionar que asociado a la adquisición de licencias se debe considerar el costo de mantenimiento que se debe pagar anualmente después del primer año de adquisición.

# Anexo 9.

## Ejemplo de procesamiento de series de tiempo de valores extremos

### Motivación del ejemplo seleccionado

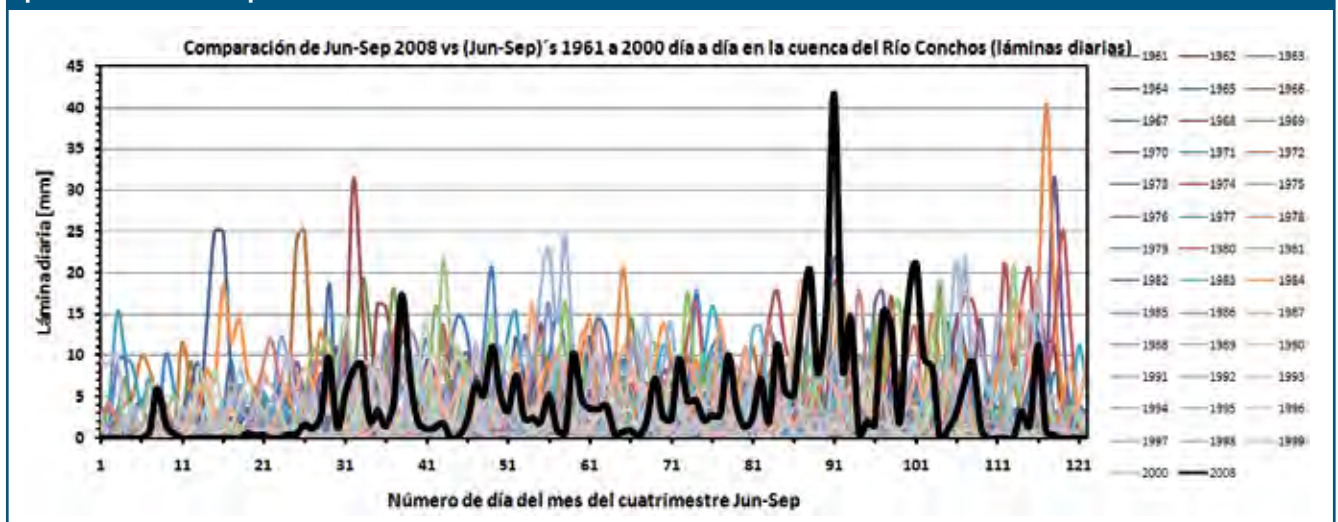
La temporada de lluvias 2008 resultó muy abundante en la mayor parte del territorio nacional. Una de las cuencas en las que rebasó registros históricos previos fue en la del río Conchos, generando que muchas de las presas sobre este río y sus tributarios alcanzaran un llenado completo y al final de la temporada tuvieran que verter, lo que produjo inundaciones importantes en varios sitios, entre ellos Ojinaga, Chihuahua, directamente sobre la confluencia del río Conchos con el río Bravo (o río Grande como se le denomina en los EUA). Este evento estacional motiva la utilización de este caso como ejemplo del procesamiento de series de tiempo en cuanto a valores extremos.

En la [figura 1.2.1.A-1](#) se muestran 41 trazas de lluvias diarias promedio en la cuenca del río Conchos, las 40 coloreadas en el fondo, correspondientes a los años 1961 al 2000, y la de línea negra gruesa correspondiente al

caso de la temporada de lluvias 2008. El eje de las abscisas identifica al día consecutivo a partir del 1° de junio hasta el 30 de septiembre mientras que el eje de las ordenadas representa la lámina promedio diaria en toda la cuenca. Cada una de las trazas está compuesta por 122 datos diarios. Las trazas históricas se obtuvieron del producto MAYA v1.0 ([ver Anexo 13](#)) promediando los valores de los 154 valores nodales dentro de la cuenca para cada uno de los 122 días analizados para cada uno de los 40 años de muestra. La traza de 2008 se obtuvo en forma similar pero utilizando los datos del subconjunto de estaciones climatológicas que reportan diariamente en o cerca de la cuenca y que diariamente se interpolan en una malla regular para presentar el mapa nacional de lluvias. Los valores de las láminas pudieran parecer, a primera vista, relativamente bajos, pero el lector debe recordar que se trata de la lámina promedio en un área muy grande. Cada milímetro de lluvia representa 67.5 millones de m<sup>3</sup> de precipitación. La cuenca es mucho más grande de lo que típicamente se analizaría para establecer condiciones de diseño de medidas de control de inundaciones, pero dado que está expresado en mm de lluvia, perfectamente podría representar una cuenca mucho más pequeña (digamos 10 a 100 veces más reducida), típica del caso al que este manual se dedica (aunque en dicho caso aún las láminas diarias máximas podrían no parecer tan extremas).

Como puede observarse en la [figura 1.2.1.A-1](#), no es sino hasta finales de agosto de 2008, digamos entre los

Figura 1.2.1.A-1. Trazas de las lluvias diarias de junio 1° a septiembre 30 para una muestra histórica 1961-2000 y para 2008, láminas promedio en la cuenca del río Conchos a su desembocadura al río Bravo



días 85 a 105, que se presentó una serie de eventos de lluvia diaria que parece rebasar claramente la historia registrada, aunque para algunos de los años de referencia, a finales de septiembre, se han presentado precipitaciones del mismo orden de magnitud. Aunque el ejemplo analizará eventos extremos, resulta útil hacer un breve análisis exploratorio de las trazas 1961 a 2000 sin el obstáculo que representa la traza del 2008, lo que se presenta en la [figura 1.2.1.A-2](#).

En dicha figura se observa claramente que muchos de los eventos diarios más extremos se han dado hacia la segunda quincena de junio e inicio de julio, reduciéndose los picos a valores más moderados durante el resto de julio y todo agosto, repuntando nuevamente en septiembre, con gran concentración en el final de este mes. Esto será importante al interpretar los resultados del procesamiento de los datos que es la materia de este apéndice. Se puede observar, además, que la magnitud de los eventos extremos no es moderadamente más alta que las condiciones típicas (digamos la media, mediana o moda), sino que resultan extraordinariamente más altos que dichas condiciones típicas, como correspondería a una zona ubicada en el altiplano central semiárido de México.

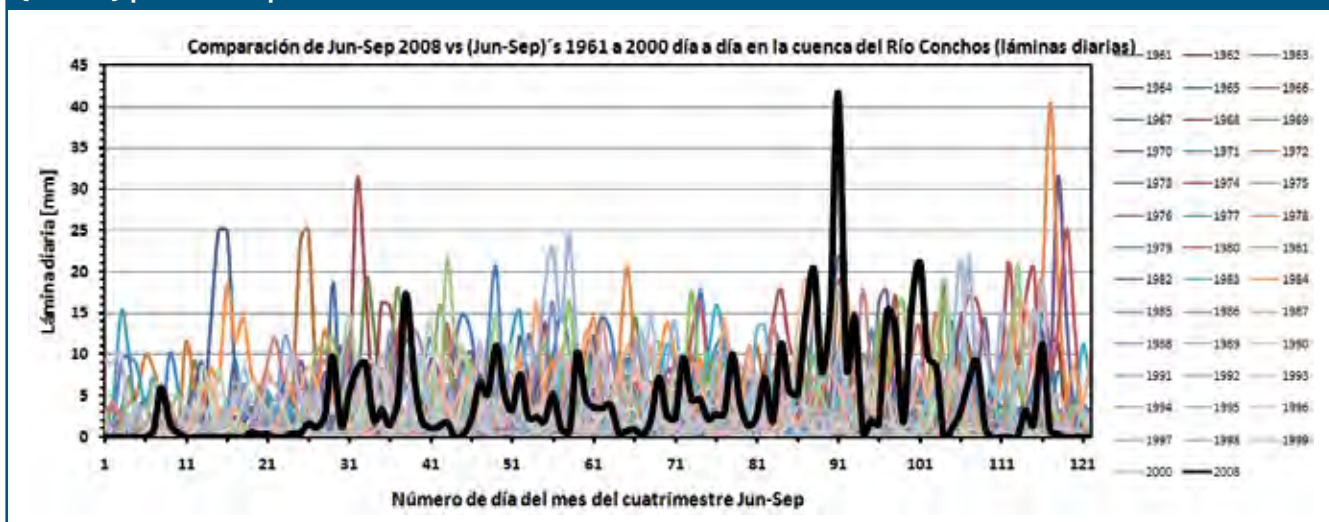
### Análisis por mes y por cuatrimestre

En el ejemplo se pretende obtener los valores de precipitación media (sobre la cuenca) diaria que corresponde a periodos de retorno de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 90

y 100 años, esto para cada uno de los meses desde junio hasta septiembre y también para el cuatrimestre junio-septiembre completo. Recuerde que el periodo de retorno es solamente una forma alternativa de expresar los umbrales que tendrían una cierta probabilidad de ser igualados o rebasados una vez por año. Por ejemplo: un evento con periodo de retorno de 50 años tiene una probabilidad de ser igualado o rebasado en un año cualquiera de 0.02 ó 2%. En una distribución de densidad de probabilidad, este valor se encontraría sobre el eje de las abcisas en un valor tal que 98% del área bajo la curva estuviera a su lado izquierdo y solo un 2% del área total estuviera a su lado derecho. Además, resultaría interesante evaluar los periodos de retorno en agosto y en el cuatrimestre completo al que correspondería el evento extremo más alto del 2008, con base a la muestra climática de 1961-2000.

Los valores de lámina de lluvia media correspondientes a periodos de retorno ( $T_r$ ) menores o iguales a 40 años se podrían obtener empíricamente de la muestra, pero aquellos superiores, de 50 a 100 años, requieren el ajuste de una distribución de probabilidad de valores extremos para poder extrapolar con base en este ajuste. Tentativamente operaremos bajo la hipótesis de que la los datos se ajustan razonablemente bien a una distribución log-normal.

**Figura 1.2.1.A- 2. Cuarenta registros cuatrimestrales de lluvias diarias, del 1° de enero (día 1) al 30 de septiembre (día 122) para las temporadas de lluvias 1961 hasta 2000**



## Descripción del procesamiento

Cada una de las trazas (correspondiente a un año en particular) de la [figura 1.2.1.A-2](#) consta de 122 valores diarios. Pero también se pueden considerar series que cubran sólo un mes, junio, julio, agosto y septiembre por separado (con 30, 31, 31 y 30 valores respectivamente). Una vez formadas estas series se extrae el valor máximo de cada una de ellas, para generar series de 40 años de valores máximos para cada uno de los cuatro meses y para el cuatrimestre completo. Así pues, de los 4,880 valores que están incluidos en la [figura 1.2.1.A-2](#) se utilizan en el análisis de valores extremos solamente 40 para junio, 40 para julio, 40 para agosto y 40 para septiembre, así como los 40 correspondientes del cuatrimestre completo.

Por ejemplo, la serie para junio resulta:		
1	1961	25.050
2	1962	3.135
3	1963	9.152
4	1964	8.978
5	1965	5.048
6	1966	25.134
7	1967	18.668
8	1968	4.261
9	1969	3.501
10	1970	10.894
11	1971	5.486
12	1972	11.543
13	1973	3.268
14	1974	0.752
15	1975	4.149
16	1976	9.140
17	1977	15.309
18	1978	13.129
19	1979	10.070
20	1980	4.788
21	1981	12.181
22	1982	3.436
23	1983	3.838
24	1984	18.482
25	1985	12.026
26	1986	12.060

Por ejemplo, la serie para junio resulta:		
27	1987	6.584
28	1988	9.282
29	1989	3.565
30	1990	6.188
31	1991	2.675
32	1992	2.861
33	1993	8.529
34	1994	3.265
35	1995	8.451
36	1996	8.514
37	1997	5.350
38	1998	2.475
39	1999	8.546
40	2000	10.312

En orden cronológico. Ordenamiento de menor a mayor lámina (de acuerdo a la tercera columna):		
1	1974	0.752
2	1998	2.475
3	1991	2.675
4	1992	2.861
5	1962	3.135
6	1994	3.265
7	1973	3.268
8	1982	3.436
9	1969	3.501
10	1989	3.565
11	1983	3.838
12	1975	4.149
13	1968	4.261
14	1980	4.788
15	1965	5.048
16	1997	5.350
17	1971	5.486
18	1990	6.188
19	1987	6.584
20	1995	8.451
21	1996	8.514
22	1993	8.529
23	1999	8.546
24	1964	8.978



**En orden cronológico. Ordenamiento de menor a mayor lámina (de acuerdo a la tercera columna):**

25	1976	9.140
26	1963	9.152
27	1988	9.282
28	1979	10.070
29	2000	10.312
30	1970	10.894
31	1972	11.543
32	1985	12.026
33	1986	12.060
34	1981	12.181
35	1978	13.129
36	1977	15.309
37	1984	18.482
38	1967	18.668
39	1961	25.050
40	1966	25.134

De esta última lista ordenada ya se pueden identificar algunos valores aproximados interesantes. Por ejemplo: ¿cuál sería la lámina con periodo de retorno de 10 años? Este valor que buscamos sería aquél que sería igualado o rebasado en promedio cada 10 años, o sea en promedio cuatro veces en 40 años. Así que el cuarto valor de abajo para arriba sería aproximadamente el que buscamos: 18.482 mm. Es decir, la lámina de 18.482 mm promedio en la cuenca del Conchos sería igualada o rebasada en promedio cada 10 años al restringirnos a lluvias en el mes de junio. Es muy importante enfatizar que esto es cierto solamente desde el punto de vista estadístico. Por ejemplo, de la misma lista se observa que dicho valor fue igualado o rebasado en 1961, 1966, 1967 y 1984, o sea que los años transcurridos entre eventos iguales o mayores fue de 5, 1, 16 y más de 16 (de 1984 a después de 2000). En efecto en promedio es alrededor de 10 años, pero en una ocasión aislada ocurrió en dos años consecutivos (1966 y 1967).

Algo completamente similar se debe hacer para las series de julio, agosto, septiembre y el cuatrimestre de junio a septiembre.

**Verificación de tener distribución de probabilidad log-normal**

Una variable aleatoria se dice que tiene una distribución log-normal cuando el logaritmo natural de sus valores se ajusta a una distribución de probabilidad normal (o gaussiana). Si así fuera, los únicos parámetros a calcular serían:

- la media de los  $\ln(h)$ ,
- la desviación estándar de los  $\ln(h)$  donde "ln" indica logaritmo natural y "h" es la lámina de la lista previa. Pero primero verifiquemos que así sea. Por supuesto, es necesario proceder a calcular (en una nueva columna) los logaritmos naturales de las láminas en la tercera columna de la lista anterior. De tener a la mano el llamado "papel probabilidad" o el equivalente moderno de un programa de graficación que incluya la capacidad de graficar con el eje de las ordenadas tipo "probabilidad", si al graficar con abscisa igual al  $\ln(h)$  y ordenada igual a la probabilidad de no ser rebasado (obtenida de la primera columna) obtenemos puntos aislados muy bien agrupados alrededor de una recta podemos afirmar que, en efecto, las láminas máximas anuales tienen una distribución log-normal. Recuerde que la probabilidad se obtiene del número de orden en la primera columna como:

- $p = (i-0.5)/n$
- donde:
- i es el número de orden en la primera columna, y
- n es el tamaño de la muestra (en nuestro ejemplo  $n = 40$ ). Así la probabilidad correspondiente al décimo valor ( $\ln(3.565)=1.271$ ) de menor a mayor es igual a  $(10-0.5)/40 = 0.2375$ . Este punto se graficaría con coordenadas (1.271, 0.2375).

Pero hay opciones aún sin contar con papel probabilidad (o *software* para graficar en su equivalente). A cada valor  $\ln(h_i)$  podemos asociar una variable  $z_i$  que si tenga distribución normal, graficamos los pares coordenados:

- $(z_i, \ln(h_i))$
- y vemos si se ajustan bien a una recta. Si lo hacen entonces la distribución de la variable h es en efecto aproximadamente log-normal. La forma de obtener este juego de valores  $z_i$  que tengan probabilidad normal es, a partir de la probabilidad, calcularlos como los valores de la abscisa que tienen como probabilidad de

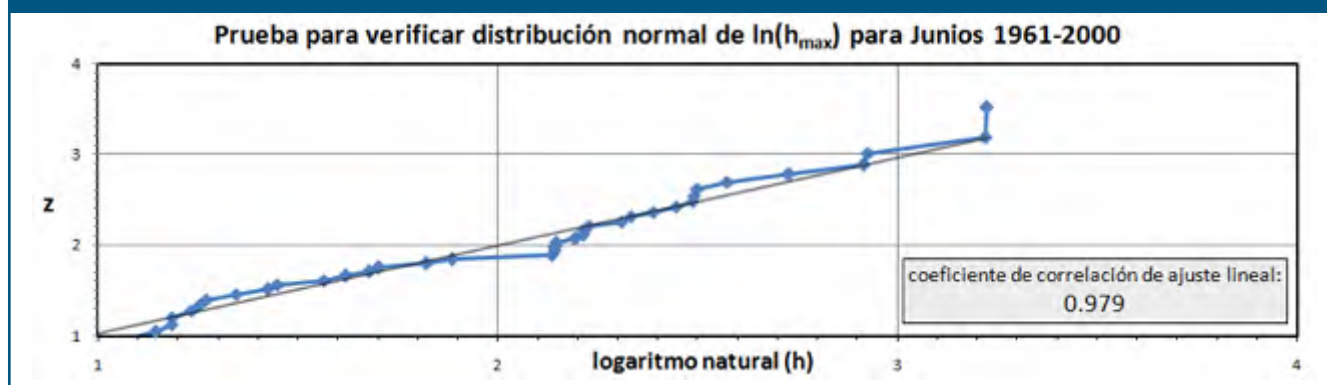
no ser rebasada la probabilidad ya calculada en cada renglón. Esto por supuesto, usando una tabla en un libro de probabilidad y estadística (todos traen una) o usando la función “inversa de la distribución normal” en una hoja de cálculo como Excel de Microsoft. Para usar la tabla impresa o la función en la hoja de cálculo es necesario conocer los dos parámetros de la distribución normal, es decir la media y la desviación estándar de la variable  $\ln(h_i)$ . Esto es esencialmente lo que diferencia a los valores  $z_i$  entre los diversos meses (junio, julio, agosto, septiembre y junio a septiembre). A continuación repetimos la lista anterior pero con columnas adicionales de  $\ln(h_i)$ , probabilidad y  $z_i$ :

i	Año	h	$\ln(h)$	prob	z
1	1974	0.75	-0.28502	0.01250	0.30493
2	1998	2.48	0.90624	0.03750	0.63488
3	1991	2.68	0.98395	0.06250	0.81122
4	1992	2.86	1.05117	0.08750	0.93849
5	1962	3.14	1.14263	0.11250	1.04083
6	1994	3.27	1.18326	0.13750	1.12796
7	1973	3.27	1.18418	0.16250	1.20483
8	1982	3.44	1.23431	0.18750	1.27433
9	1969	3.50	1.25305	0.21250	1.33830
10	1989	3.57	1.27116	0.23750	1.39800
11	1983	3.84	1.34495	0.26250	1.45435
12	1975	4.15	1.42287	0.28750	1.50800
13	1968	4.26	1.44950	0.31250	1.55949
14	1980	4.79	1.56611	0.33750	1.60922
15	1965	5.05	1.61899	0.36250	1.65755
16	1997	5.35	1.67710	0.38750	1.70475

i	Año	h	$\ln(h)$	prob	z
17	1971	5.49	1.70220	0.41250	1.75108
18	1990	6.19	1.82261	0.43750	1.79675
19	1987	6.58	1.88464	0.46250	1.84197
20	1995	8.45	2.13428	0.48750	1.88693
21	1996	8.51	2.14171	0.51250	1.93179
22	1993	8.53	2.14347	0.53750	1.97674
23	1999	8.55	2.14546	0.56250	2.02196
24	1964	8.98	2.19478	0.58750	2.06764
25	1976	9.14	2.21266	0.61250	2.11397
26	1963	9.15	2.21397	0.63750	2.16117
27	1988	9.28	2.22808	0.66250	2.20949
28	1979	10.07	2.30956	0.68750	2.25923
29	2000	10.31	2.33331	0.71250	2.31072
30	1970	10.89	2.38821	0.73750	2.36437
31	1972	11.54	2.44608	0.76250	2.42071
32	1985	12.03	2.48707	0.78750	2.48042
33	1986	12.06	2.48989	0.81250	2.54439
34	1981	12.18	2.49988	0.83750	2.61388
35	1978	13.13	2.57482	0.86250	2.69075
36	1977	15.31	2.72844	0.88750	2.77788
37	1984	18.48	2.91680	0.91250	2.88022
38	1967	18.67	2.92681	0.93750	3.00750
39	1961	25.05	3.22087	0.96250	3.18384
40	1966	25.13	3.22422	0.98750	3.51378

Como puede observarse en los puntos  $(\ln(h_i), z_i)$  se agrupan bastante bien alrededor de una recta (la línea gris semitransparente), resultando el coeficiente de correlación igual a 0.979. Esto quiere decir que en efecto,

Figura 1.2.1.A- 3. Verificación de que la muestra de junio se ajusta bien a una distribución log-normal



la extrapolación de valores más allá del  $T_r = 40$  años sí se puede hacer razonablemente bien con la expresión matemática que define la recta. De hecho los parámetros de la distribución log-normal son precisamente los que definen a la recta, que para el caso de junio resultaron:

- media ( $\ln(h_r)$ ) = 1.90936
- desv.est. ( $\ln(h_r)$ ) = 0.71581

La ecuación de la recta, o en forma equivalente las relaciones básicas ya definidas entre las variables, no sólo pueden ser utilizadas para obtener los valores  $h$  para periodos de retorno mayores a 40 años, sino inclusive para aquellos menores a 40 años también. La distribución ajustada se considera superior a la forma empírica directamente de la lista porque toma en cuenta la totalidad de la tendencia mostrada por la variable, no solamente el segmento entre los valores que encuadran (o coinciden) con la probabilidad del valor buscado.

## Resultados

Así pues, los valores buscados resultan, para junio:

$T_r$	prob	$\ln(h)$	$h$
2	0.5000	1.9094	6.7488
10	0.9000	2.8267	16.8898
20	0.9500	3.0868	21.9061
30	0.9667	3.2220	25.0790
40	0.9750	3.3123	27.4488
50	0.9800	3.3795	29.3548
60	0.9833	3.4326	30.9564

$T_r$	prob	$\ln(h)$	$h$
70	0.9857	3.4762	32.3379
80	0.9875	3.5138	33.5749
90	0.9889	3.5459	34.6701
100	0.9900	3.5746	35.6798

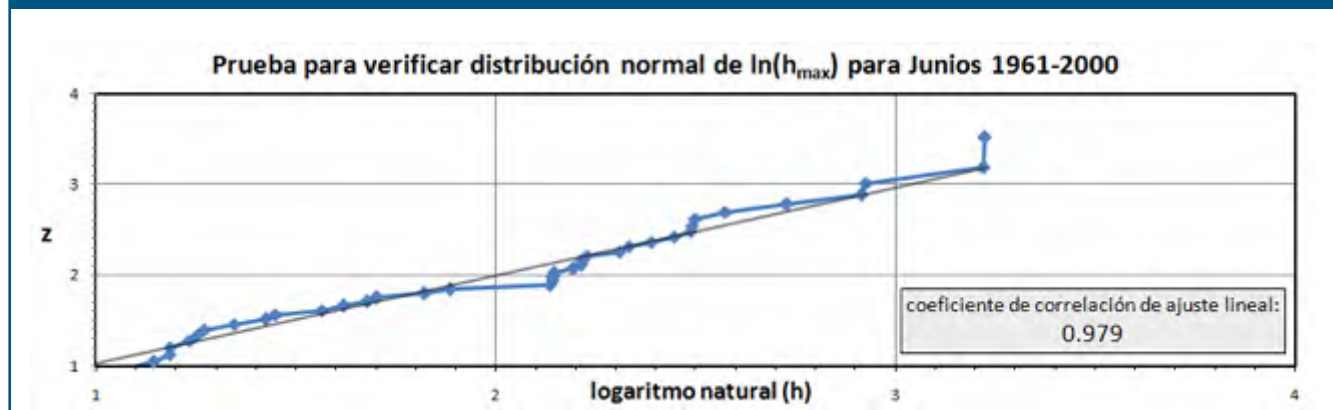
- donde la probabilidad se calcula a partir del periodo de retorno como:
- probabilidad =  $1 - (1/T_r)$

El valor de  $\ln(h)$  se calcula como la abscisa que corresponde a esta probabilidad en una distribución normal, de tablas o usando la función “inversa de la distribución de probabilidad normal” en la hoja de cálculo.

Finalmente la  $h$  se obtiene como el “antilogaritmo natural”, es decir, elevando al número “e” (2.7172) a la potencia  $\ln(h)$ .

Varias cosas interesantes destacan. Por supuesto, al periodo de retorno de dos años corresponde el valor de  $h = 1.9094$ , exactamente igual a la media, lo que sólo nos dice que en promedio el valor medio es igualado o rebasado cada dos años. Los valores para  $T_r = 10, 20, 30$  y  $40$  años corresponden a  $h = 16.8$  mm,  $21.9$  mm,  $25.1$  mm y  $27.4$  mm que son muy similares a los valores que hubiésemos obtenido empíricamente de la lista ordenada, es decir los últimos cuatro valores:  $18.5$  mm,  $18.7$  mm,  $25.0$  mm y  $25.1$  mm, aunque naturalmente mejor distribuidos (sin ruido experimental). Por razones de comparación posterior con otros meses resaltamos el valor correspondiente a  $T_r = 100$  años, que resulta  $h = 35.7$  mm.

Figura 1.2.1.A- 4. Verificación de que la muestra de julio se ajusta bien a una distribución de probabilidad log-normal



Realizando un procesamiento completamente similar con julio, agosto, septiembre y el cuatrimestre ju-

nio-septiembre se obtienen las gráficas de las figuras 1.2.1.A-4, 5, 6 y 7:

Figura 1.2.1.A- 5. Verificación de que la muestra de agosto se ajusta bien a una distribución log-normal

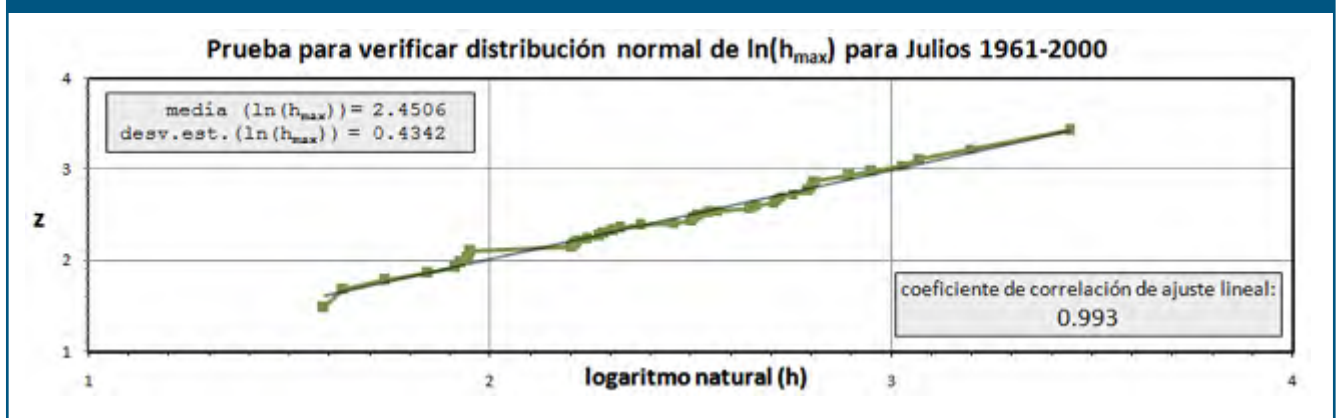


Figura 1.2.1.A- 6. Verificación de que la muestra de septiembre se ajusta bien a una distribución log-normal

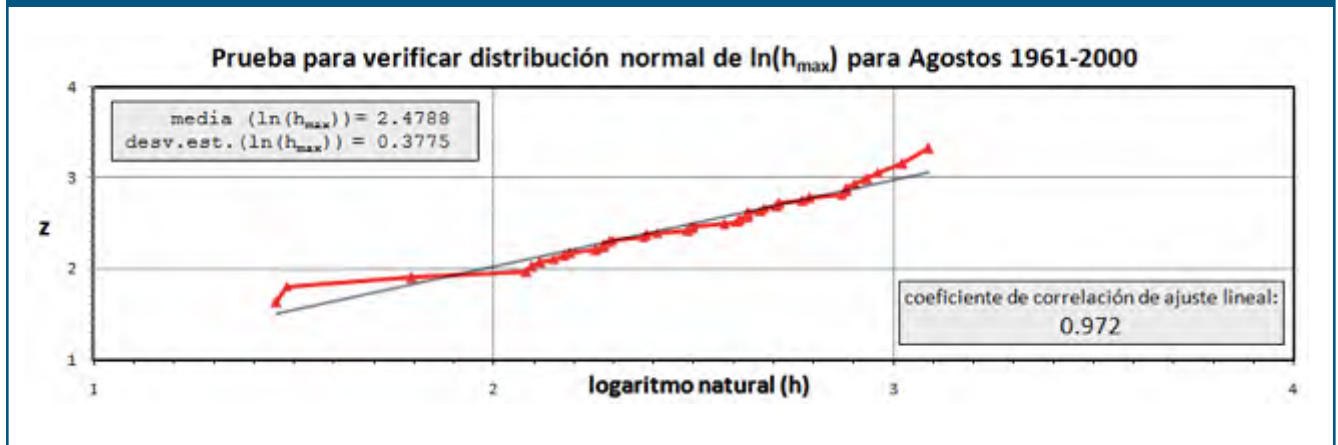
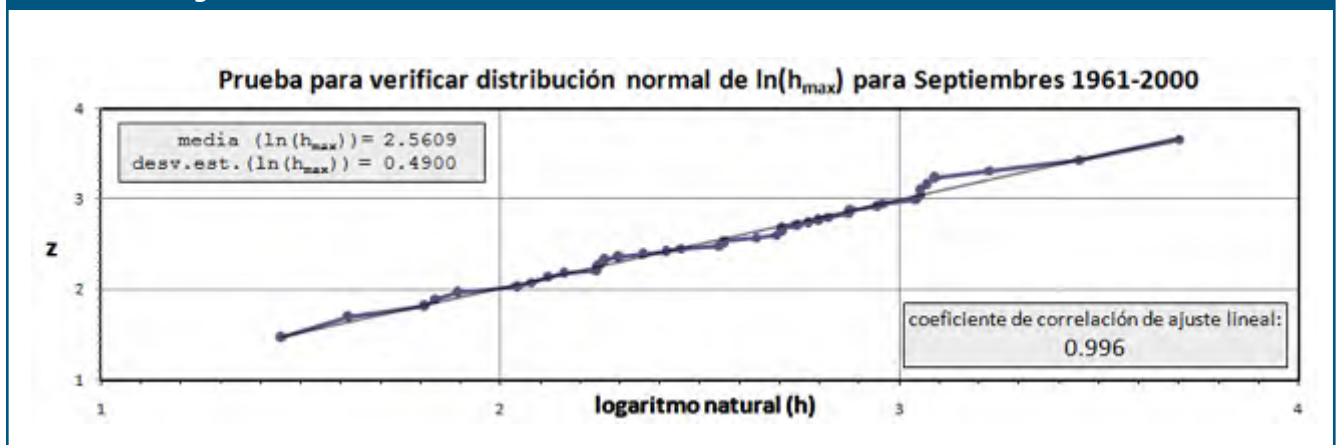


Figura 1.2.1.A- 7. Verificación de que la muestra del cuatrimestre de junio a septiembre se ajusta bien a una distribución log-normal



Los coeficientes de correlación del ajuste de la recta siguen siendo altos: 0.993 para julio, 0.972 para agosto, 0.996 para septiembre y 0.989 para junio-septiembre.

A continuación los grupos de resultados para cada uno de los meses posteriores a junio y para el cuatrimestre completo.

Para el mes de julio: Media $(\ln(h_i)) = 2.4506$ Desv.est. $(\ln(h_i)) = 0.4342$			
Tr	prob	$\ln(h)$	h
2	0.5000	2.4506	11.5950
10	0.9000	3.0071	20.2282
20	0.9500	3.1648	23.6848
30	0.9667	3.2469	25.7104
40	0.9750	3.3017	27.1579
50	0.9800	3.3424	28.2867
60	0.9833	3.3746	29.2132
70	0.9857	3.4011	29.9972
80	0.9875	3.4239	30.6882
90	0.9889	3.4434	31.2917
100	0.9900	3.4608	31.8414

Para el mes de agosto: Media $(\ln(h_i)) = 2.4788$ Desv.est. $(\ln(h_i)) = 0.3775$			
Tr	prob	$\ln(h)$	h
2	0.5000	2.4788	11.9273
10	0.9000	2.9626	19.3492
20	0.9500	3.0998	22.1936
30	0.9667	3.1711	23.8348
40	0.9750	3.2188	24.9973
50	0.9800	3.2542	25.8982
60	0.9833	3.2822	26.6341
70	0.9857	3.3052	27.2545
80	0.9875	3.3250	27.7995
90	0.9889	3.3419	28.2741
100	0.9900	3.3571	28.7055

Para el mes de septiembre: Media $(\ln(h_i)) = 2.5609$ Desv.est. $(\ln(h_i)) = 0.4900$			
Tr	prob	$\ln(h)$	h
2	0.5000	2.5609	12.9477
10	0.9000	3.1889	24.2612
20	0.9500	3.3669	28.9884
30	0.9667	3.4595	31.8008
40	0.9750	3.5213	33.8283
50	0.9800	3.5673	35.4191
60	0.9833	3.6036	36.7309
70	0.9857	3.6335	37.8452
80	0.9875	3.6592	38.8304
90	0.9889	3.6812	39.6930
100	0.9900	3.7008	40.4807

Los comentarios asociados a los resultados de junio siguen, en general, siendo aplicable a julio, agosto, septiembre y el cuatrimestre junio-septiembre.

Para poder ver diferencias entre meses y con la temporada completa, utilizemos el valor de h resultante para un periodo de retorno de 100 años:

- Junio: 35.6798 mm
- Julio: 31.8414 mm
- Agosto: 28.7055 mm
- Septiembre: 40.4807 mm
- Junio-septiembre: 38.0119 mm

De acuerdo a los comentarios iniciales del análisis exploratorio sobre la [figura 1.2.1.A-2](#), junio y septiembre resultan con valores extremos más altos que julio y agosto. De hecho agosto resulta el mes que menores valores de lámina que se igualaría o rebasaría solo una vez cada 100 años, lo que probablemente indica el decaimiento del fenómeno llamado el Monzón de Norteamérica, mientras que el valor alto de septiembre indica extremos poco frecuentes pero de gran magnitud producidos por incidencia de ciclones tropicales. En el caso de cuatrimestre junio-septiembre el valor resulta un poco más bajo que en septiembre probablemente por ruido experimental.

Queda intentar contestar las preguntas adicionales sobre el periodo de retorno de la precipitación más alta en el 2008. De la [figura 1.2.1.A-1](#) se identifica que la lámina promedio en la cuenca más extrema de 2008 fue de



42 mm, inclusive más alta que la equivalente a 100 años de periodo de retorno en septiembre.

- Si  $h=42$  mm
- $\ln(h) = 3.7377$

para estadísticas de septiembre:

- prob = 0.9918
- Tr = 122 años.

En cambio, para las estadísticas de la temporada completa:

- prob = 0.9957
- Tr = 233 años.

Donde la probabilidad se calcula de tablas de la distribución normal o de la función "distribución normal" en una hoja de cálculo. El periodo de retorno se calcula con la relación ya planteada entre probabilidad y periodo de retorno.

## Anexo 10.

# Descripción del producto BANDAS

El Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) es una base de datos de aguas superficiales incluyendo: caudales en ríos, transporte de sedimentos en ríos, niveles de la superficie libre en ríos y presas y almacenamientos en presas. Los datos disponibles son diarios, promedios mensuales y promedios anuales. Estos datos provienen, en términos generales de la red hidrométrica de la Comisión Nacional del Agua, que la opera a través de sus Organismos de Cuenca y Direcciones Locales coordinados por la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos de su Subdirección General Técnica.

El catálogo de estaciones hidrométricas lista 2,175 distintas ubicaciones sobre la geografía nacional, mientras que el catálogo de vasos (de presas) lista 168 almacenamientos. El número de años de registro y los intervalos específicos de los mismos son diferentes para cada estación. Se recomienda a cualquier usuario que consulte los catálogos inicialmente.

BANDAS es un producto generado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) bajo contrato por la Comisión Nacional del Agua.

BANDAS se distribuye en un conjunto de 10 discos compactos, donde en el primero viene una aplicación de acceso, del primero al noveno los archivos correspondientes a las estaciones hidrométricas en cauces de ríos y en el décimo los archivos correspondientes al funcionamiento de vasos.

Los archivos de datos se encuentran en formato ".dbf", el nativo de una serie de lenguajes de programación orientados al manejo de bases de datos genéricamente denominados xBase (por ejemplo dBase III, dBase IV, dBase V, Fox Pro, Visual Fox Pro, etcétera; actualmente migrado a Access).

### La aplicación SIAS

SIAS es el acrónimo de Sistema de Información de Aguas Superficiales. En el cual se capturan los datos crudos medidos en las estaciones hidrométricas tales como: Lectura

de escalas, resúmenes de aforo y sedimentos y mediante procesos matemáticos se realiza el cálculo hidrométrico donde los productos son: gastos medios diarios, gastos instantáneos, datos mensuales y anuales, así como, gráficas de las avenidas correspondientes, curvas de gastos, hidrográmas, etcétera; adicionalmente a esto en el SIAS, se captura la climatología (lluvia y evaporación), así mismo, la curva elevación-área-capacidades, datos hidrométricos aguas arriba y/o aguas debajo de la presa de tal manera que se calcule el funcionamiento diario, mensual y anual de las presas; estos datos de hidrometría y presas son los que alimentan al BANDAS.

La manera de consultar el BANDAS es a través de los reportes generados por el sistema mismo y no por fuera de él, a no ser que el usuario disponga de Visual Fox Pro, y conozca el significado de los campos de las tablas de las bases de datos. En su última versión (actualización al año 2006) es posible exportar las bases de datos en Visual Fox Pro (.dbf), a Excel (.xls) y Access (.mdb); así como, a Acrobat Reader (.pdf).

Esta nueva versión se puede instalar en sistemas operativos Windows XP y Vista, mejorando la versión anterior que presentaba algunas fallas de instalación en algunas PC con sistema operativo Windows Vista.

## Anexo 11.

# Descripción de la base de datos climatológica, administrada con CLICOM

### Una estación climatológica

Una estación climatológica (convencional) es una pequeña instalación al aire libre de unos 3 x 4 metros dentro de un enrejado de aproximadamente 1.20 m de altura. Típicamente tiene los siguientes instrumentos:

- Un pluviómetro que captura agua de lluvia en un cono de dimensiones estandarizadas y la deposita en un cilindro con área transversal 10 veces menor que la del cono de captura, esto para magnificar y hacer más fácil la lectura (1 mm de lámina de lluvia se mide como 1 cm dentro del cilindro).
- Dos termómetros de columna de mercurio que miden la temperatura ambiente y registran (con pequeños marcadores) los extremos máximo y mínimo de la excursión de la columna. Se encuentra(n) resguardado(s) dentro de una pequeña caseta de madera color blanco que permite el libre paso del aire a través de ella pero impide que la radiación solar incida directamente sobre el(los) termómetro(s), esto a través de construcción tipo persiana de sus paredes laterales.
- Un evaporímetro (una tina circular llena hasta cierto nivel de agua) de dimensiones y asiento sobre el suelo estandarizado en el que se mide la lámina de evaporación diariamente con un mecanismo de tornillo y Vernier.
- Un pequeño mástil con una veleta y una placa que permiten evaluar cualitativamente la velocidad y dirección del viento.

Cada mañana, nominalmente a las 8:00 AM hora local del sitio, un operador mide manualmente en dichos instrumentos las láminas de precipitación y evaporación de las últimas 24 horas, la temperatura ambiente instantánea y las temperaturas máxima y mínima alcanzada en las últimas 24 horas. Además anota si en las últimas 24 horas se han presentado en la cercanía de la estación niebla, tormentas eléctricas y granizo. También anota su

percepción del cielo como despejado, medio nublado o nublado. Observe que no se mencionó nada al respecto del viento. Por un lado el viento (cualitativo) a las 8:00 AM por sí solo no resulta muy útil (frecuentemente es calma total); por otro, no es una variable que se registra en la base de datos climatológica nacional (BDCN). Anote sus mediciones/observaciones en una libreta correspondiente al mes en cuestión. Antes de retirarse vacíe el pluviómetro, restituya el nivel del agua en el evaporímetro (si resulta necesario) y regrese los marcadores de máximo y mínimo del termómetro a sus posiciones estándar de inicio. Por supuesto, para la aplicación en este manual, es la precipitación pluvial la variable que resulta más importante.

## La red de estaciones climatológicas

Una sola de estas estaciones, aislada, no sería muy útil. Pero se tiene toda una red de estaciones climatológicas sobre el territorio nacional. Más de 5,000 de ellas han operado a lo largo del tiempo en México, alcanzando un máximo instantáneo alrededor de 1980-1984 con cerca de 4,300 simultáneas. Hoy en día se tienen operando alrededor de 3,300. Las mediciones de estas estaciones climatológicas representan el espinazo de la red de mediciones atmosféricas del país. Nominalmente, una vez cada mes, personal de la CONAGUA (o en algunos casos de la agencia operadora como la CFE) recoge los datos del operador y los envía a ser capturados a oficinas estatales o regionales, desde donde los datos ya digitales son enviados al edificio central del SMN para ser incorporados a la BDCN.

Un subconjunto de estas estaciones tienen acceso a teléfono (anteriormente radio y antes aún a telégrafo) por lo que transmiten sus datos inmediatamente después de haber hecho las mediciones a sitios de concentración que lo capturan en el SIH (ver Anexo 12) dando acceso, al menos al interior de la CONAGUA, en lo que podría llamarse “tiempo real” para una red de este tipo. El subconjunto de tiempo casi real es de unas 900 estaciones. Es de este subconjunto que se obtienen los mapas diarios de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, mismos que aparecen (casi) diariamente en la página: <http://smn.cna.gob.mx> en la sección de “Productos”. Las mediciones hechas a las 8:00 AM ya están usualmente vaciadas en mapas para las 12:00 PM del mismo día.

Los datos en la BDCN, a cargo del SMN, no proviene directamente de este reporte en tiempo real, sino de la captura sistemática de los datos medidos fuera de línea, digamos mensual en el caso ideal.

## CLICOM, el manejador de bases de datos

La mayor parte de los usuarios confunden como sinónimos la Base de Datos Climatológica Nacional (BDCN) y el término CLICOM. En otras palabras se habla de la información que está en la base de datos CLICOM. Es importante entender que CLICOM es un manejador de bases de datos, especializado en el contexto climatológico. Como tal sería equivalente a dBase, FoxPro o Access. CLICOM no es la base de datos, sólo es el manejador a través del cual la base de datos se administra. En el futuro se podría sustituir al manejador de la base de datos por otro cualquiera que realizara las mismas funciones. Pero la base de datos seguiría siendo la misma.

CLICOM es una aplicación montada sobre un manejador de bases de datos genéricos llamado DataEase, que es un producto comercial que requiere licencia, aunque no se podría asegurar que la compañía exista actualmente. Por otro lado CLICOM *per se* es libre, al ser un desarrollo encargado por la Organización Meteorológica Mundial. Pero para funcionar se requiere el binomio CLICOM-DataEase. CONAGUA tiene las licencias necesarias, pero no puede distribuir el producto DataEase a otras instituciones. Es por ello que, cuando se solicita información al SMN desde fuera de la CONAGUA, los datos se entregan en formatos de texto ASCII accesible por muchas otras herramientas computacionales. Inclusive es ingerible por otros manejadores de bases de datos.

## La Base de Datos Climatológica Nacional (BDCN)

La BDCN es el conjunto de datos de las estaciones climatológicas (tradicionales) que hasta ahora han sido digitalizados e ingeridos a través del manejador central CLICOM. No es un ente estático. No se puede hablar de la BDCN en forma específica sin hacer referencia a la fecha de actualización. Diariamente se ingieren datos en la BDCN. La BDCN del 25 de junio de 2008 no necesariamente es idéntica a la BDCN del 26 de junio de 2008. Inocentemente se podría pensar que la única diferencia

sería los datos medidos precisamente el 25 de junio de 2008, lo cual es falso, ya que los datos ingeridos a la BDCN el 25 de junio de 2008 no tienen que ser (y por lo regular no son) sólo aquellos de dicho día. El 25 de junio de 2008 se pudieron haber ingerido paquetes de datos digitalizados correspondientes a 1954 en Baja California Sur, a julio-septiembre de 2001 en Zacatecas y enero-marzo de 2006 en Campeche (los casos son invenciones arbitrarias del autor, no ejemplos reales).

Un ejemplo ilustrativo que sí es real es el siguiente: MAYA v1.0 (ver Anexo 13) se obtuvo interpolando todos los datos desde 1961 hasta 2000 de <precipitación diaria>, <temperatura máxima diaria> y <temperatura mínima diaria> que estaban en la BDCN exactamente al día 30 de noviembre de 2004. En ese sentido es una manifestación de una versión congelada de la BDCN a esa fecha específica. De dicha fecha a la de elaboración de este manual, muchos más datos han sido ingeridos a la BDCN. Algo similar ocurre con las versiones alternativas de la BDCN elaboradas por el IMTA y ampliamente utilizadas: ERIC, ERIC II y hasta ERIC III. Los datos en estos productos son los que se congelaron al momento de su elaboración. No se trata de verdaderas alternativas a la BDCN, se trata de derivados de la BDCN.

La BDCN está internamente organizada en registros que agrupan un mes de mediciones de una sola variable en una sola estación. Así, todas las mediciones de una estación durante los 31 días de mayo de 1999 conforman un registro. Esto puede facilitar el interpretar el volumen total de datos disponibles, pues esto se reporta usualmente usando a los “registros” como unidades. Cuenta con registros de las cinco mediciones cuantitativas y de las cuatro observaciones cualitativas. Cada estación tiene diferentes intervalos de operación, típicamente identificados con una fecha de inicio de operación y una fecha de fin de operación, aunque también pueden existir varios segmentos. Por ejemplo: una estación pudo haber operado de febrero de 1948 hasta septiembre de 1986 y nuevamente de julio de 1990 hasta noviembre de 2008. El hecho de que un día específico, por ejemplo el 25 de junio de 1957, se encuentre en el interior de éste o estos intervalos no garantiza que se tendrá medición para dicho día, en dicha estación de la variable de interés. Esto se debe a que, aún dentro de estos intervalos nominales existe una cierta porosidad, es decir valores faltantes que se marcan con una bandera convencional.

Así pues, para caracterizar la verdadera disponibilidad de datos se hace a través de las fechas de inicio y fin de operación y el porcentaje de los datos nominales en dicho intervalo que en realidad se encuentran en la BDCN. En el ejemplo previo:

- Febrero de 1948 a septiembre de 1986 92%
- Julio de 1990 a noviembre de 2008 84%

A nivel de estadísticas generales no se define con especificidad si el dato del 25 de junio de 1957 se encuentra o no se encuentra en la BDCN. La forma de obtener esta información específica es ver qué es lo que se encuentra almacenado para esta fecha: un valor real o la bandera convencional de “falta de dato”.

Ni siquiera se puede esperar uniformidad total en todas las variables para una misma estación en una misma fecha. Algunas de ellas pueden contener la bandera de “falta de dato” y las demás pueden estar presentes. En general, la precipitación pluvial diaria, variable de máximo interés para el tema de este manual, es en general la que mayor disponibilidad presenta entre todas.

La BDCN tiene granularidad diaria, es decir, se almacenan como datos crudos los valores diarios. Esto no quiere decir que no se puedan solicitar y obtener reportes de valores promedio o acumulados mensuales o anuales, o que no se puedan obtener las llamadas “normales climatológicas”. Pero al final, de requerirse control de calidad, habrá que recurrir a los datos más elementales: los diarios.

#### Evolución del número de estaciones

Es importante diferenciar el número de estaciones operando en una cierta época histórica vs el número de estaciones disponibles para esa época en la BDCN. La siguiente tabla de reporte compara las estaciones disponibles en la BDCN contra las estimadas como operativas a nivel nacional año por año. Se trata de un estimado pues siempre existe la posibilidad de que alguna estación operativa en alguna época tenga sus registros originales extraviados, por lo que no se cuenta con evidencia alguna de que haya operado en dicha época. En la última columna se coloca la relación de disponibles en la BDCN entre las estimadas como operativas en porcentaje. Las estadísticas se refieren a la variable lluvia.

Año	BDCN	Operativas	Fracción
1902	1	2	41.67%
1903	6	9	64.81%
1904	8	10	80.00%
1905	9	10	86.67%
1906	10	10	95.00%
1907	12	15	78.89%
1908	14	16	90.10%
1909	16	17	94.12%
1910	15	16	95.31%
1911	13	15	88.33%
1912	10	14	73.21%
1913	3	9	35.19%
1914	1	2	58.33%
1916	1	1	75.00%
1917	1	2	66.67%
1918	1	2	58.33%
1919	0	1	25.00%
1920	1	1	100.00%
1921	9	14	66.67%
1922	36	48	75.87%
1923	64	80	79.69%
1924	70	91	76.83%
1925	84	100	84.17%
1926	102	123	82.86%
1927	120	134	89.80%
1928	132	140	94.58%
1929	137	152	89.86%
1930	137	150	91.17%
1931	131	143	91.72%
1932	114	131	86.96%
1933	117	131	89.12%
1934	121	129	94.12%
1935	118	127	92.65%
1936	122	134	90.86%
1937	110	120	91.53%
1938	127	145	87.70%
1939	147	177	82.91%
1940	154	187	82.13%
1941	190	244	77.80%
1942	267	325	82.28%
1943	322	369	87.22%

Año	BDCN	Operativas	Fracción
1944	364	440	82.73%
1945	421	472	89.14%
1946	427	473	90.31%
1947	463	532	86.94%
1948	521	591	88.23%
1949	589	547	91.04%
1950	595	655	90.80%
1951	638	699	91.29%
1952	690	759	90.84%
1953	749	813	92.15%
1954	840	920	91.28%
1955	918	1001	91.74%
1956	984	1047	93.97%
1957	1022	1080	94.61%
1958	1069	1128	94.73%
1959	1098	1152	95.32%
1960	1129	1194	94.58%
1961	1706	1830	93.22%
1962	1852	1964	94.31%
1963	1961	2096	93.54%
1964	2063	2217	93.03%
1965	2171	2291	94.76%
1966	2265	2389	94.82%
1967	2334	2453	95.15%
1968	2328	2437	95.51%
1969	2438	2752	88.59%
1970	2548	2710	94.03%
1971	2509	2622	95.69%
1972	2680	2850	94.02%
1973	2776	2954	93.97%
1974	2860	3080	92.86%
1975	2941	3180	92.47%
1976	2989	3201	93.38%
1977	3057	3277	93.29%
1978	3115	3374	92.32%
1979	3131	3462	90.43%
1980	3278	3678	89.12%
1981	3446	3759	91.67%
1982	3711	4060	91.39%
1983	3698	4077	90.71%
1984	3446	3811	90.43%



Año	BDCN	Operativas	Fracción
1985	3230	3617	89.30%
1986	3033	3463	87.59%
1987	2981	3444	86.57%
1988	2851	3288	86.71%
1989	2626	2994	87.72%
1990	2532	2875	88.07%
1991	2630	2899	90.73%
1992	2606	2860	91.13%
1993	2547	2792	91.21%
1994	2494	2739	91.07%
1995	2532	2750	92.08%
1996	2565	2773	92.50%
1997	2609	2833	92.08%
1998	2551	2786	91.55%
1999	2377	2635	90.20%
2000	2476	2724	90.91%
2001	2354	2573	91.50%
2002	2259	2475	91.27%
2003	2160	2386	90.55%
2004	2076	2250	92.26%
2005	2033	2209	92.02%
2006	1890	2125	88.96%
2007	1216	1603	75.85%

Se observan varios aspectos interesantes:

- De 1902 a 1909 el número de estaciones operando creció modestamente, pero creció. La Revolución Mexicana, de 1910 a 1920 invirtió la tendencia de estaciones operativas.
- De 1921 hasta 1983 el número de estaciones operativas creció, con ciertas oscilaciones pero con una clara tendencia creciente.
- A partir de 1984 hasta 1993 se dio un significativo decrecimiento y después hasta 2007 una cierta estabilización.
- A principios de 1990 se realizó un esfuerzo intensivo de captura de datos que, nominalmente debería haber digitalizado el 100% de los datos 1961-1990. En efecto durante más de 10 años después de dicha captura el incremento en disponibilidad digital de los datos entre 1961 y 1990 resultaba evidente. Pero el esfuerzo de captura que se ha realizado desde aproximadamente 2002 a la fecha ha suavizado

estos cambios abruptos. Hoy en día tenemos una relativamente alta disponibilidad de datos digitales con respecto a los existentes que no bajan del 85% en cualquier época. La caída (temporal) de la disponibilidad en los dos últimos años reportados (2006 y 2007) resulta natural, pues muchas estaciones todavía están en digitalización.

¿Qué pasó en 1983 que el número de estaciones climatológicas dejó de crecer? No existe una sola respuesta con certeza absoluta. Quizá la percepción de los tomadores de decisión sobre la necesidad de este tipo de mediciones cambió a la luz del advenimiento de productos satelitales?, ¿quizá se estimó que los equipos automáticos resolverían todos los problemas asociados? Sea lo que haya sido, parece haberse corregido el rumbo de 1993 a la fecha. No deja de inquietar que, quizá hasta que se terminó el esfuerzo intensivo de captura antes mencionado, no se tuvo conciencia de la velocidad a la que los puntos de medición estaban descendiendo.

Es necesario recordar que los valores de la segunda columna en general eran fraccionarios, pues se obtuvieron como promedio de la disponibilidad mensual, pero por facilidad de lectura aquí fueron redondeados al entero más cercano. Es por ello que, el porcentaje de la cuarta columna podría no parecer correcta, sobre todo al principio del siglo XX, cuando existían muy pocas estaciones. Los interesados en esta información desagregada a nivel mensual o a nivel estatal, o en cualquier combinación, pueden solicitarla a [alejandro.gonzalezs@conagua.gob.mx](mailto:alejandro.gonzalezs@conagua.gob.mx).

No deja de resultar interesante que, de acuerdo a esta contabilidad, el número de días-medición-estación (solamente para lluvia) que se tendrían en la BDCN sería del orden de: ¡¡¡Cincuenta mil millones!!!

## Posibilidad de problemas de calidad

Al ingerir los datos digitalizados a través de CLICOM se aplican ciertos criterios de control de calidad, aunque en general son muy elementales. Por ejemplo: se revisa que las temperaturas no sean irrealistamente altas o bajas, se revisa que la máxima del día no resulte menor que la mínima del día, entre otros. Pero es perfectamente posible que datos erróneos (ya sea porque se encuentran así en el registro en papel o porque fueron transcritos en forma errónea al capturar) estén presentes en la BDCN. En los

últimos años el SMN ha emprendido esfuerzos adicionales para calificar la calidad de los datos, pero el alcance y uso práctico de dichos resultados rebasa el alcance de este manual. Interesados en obtener relaciones de estas calificaciones de calidad junto con los datos en sí deben solicitarlos a [raul.larios@conagua.gob.mx](mailto:raul.larios@conagua.gob.mx). Internamente el SMN utilizará estas calificaciones de calidad para jerarquizar qué datos (de los millones disponibles) deben ser verificados contra su registro original en papel. Pero la corrección de los errores encontrados puede tomar varios años.

## Posibilidad de problemas de no homogeneidad

La sección anterior se refería a errores en los cuales el valor asentado en la BDCN está equivocado. Pero pueden existir problemas que limiten la utilidad de la BDCN en algunas aplicaciones específicas. El problema (no error) de este tipo más común es la falta de homogeneidad de las series de tiempo de alguna variable en alguna estación. Esto implica que existan razones por las cuales las mediciones realizadas en el tiempo  $t_1$  no deban ser comparadas con las realizadas en el tiempo  $t_3$  sin corregirse antes. Por ejemplo: al tiempo  $t_2$ , intermedio entre el  $t_1$  y el  $t_3$  puede haber ocurrido un cambio del instrumento de medición, un cambio del operario de la estación, una leve reubicación de la estación o cualquier otra razón por la que las estadísticas de la serie antes de  $t_2$  no resultan iguales que las estadísticas después del tiempo  $t_2$ . Existe un cambio abrupto que no obstante estar presente puede ser difícil de identificar por un usuario. Existen técnicas probadas que permiten identificar estas inhomogeneidades abruptas de forma automática o semiautomática. El SMN, en los últimos años, ha hecho esfuerzos para identificar al menos la primera aparente inhomogeneidad abrupta en cada serie. Su aplicación rebasa el alcance de este manual, pero los usuarios interesados en contar con esta información la pueden solicitar a [raul.larios@conagua.gob.mx](mailto:raul.larios@conagua.gob.mx).

No todas las inhomogeneidades en las series de tiempo son del tipo abrupto. Por ejemplo: el hecho de que un árbol, originalmente suficientemente pequeño y suficientemente lejos de la estación para no afectar la exposición del pluviómetro al campo de lluvias libre, crece con el tiempo y empieza a disminuir esta exposición cuando el viento se dirige de dicho árbol hacia la estación. El paulatino alcance de la zona urbanizada sobre el sitio de

la estación también puede afectar esta exposición del pluviómetro a la lluvia “virgen”. Dado que ocurren paulatinamente, creando un efecto de estadísticas ascendentes o descendentes en forma de rampa, estas inhomogeneidades son mucho más difíciles de identificar.

## Posibilidad de problemas de retraso

El usuario de la BDCN debe estar consciente que, sobre todo tratándose de datos recientes, el hecho de que un dato no exista en la BDCN no necesariamente significa que no exista tal medición. El dato, aunque medido, pudiera todavía estar en posesión del operario, puede estar en espera de ser digitalizado o puede estar en espera de ser ingerido a la BDCN. La única forma razonable de contrarrestar esta posibilidad es hacer contacto con la autoridad local de la CONAGUA (ya sea el Organismo de Cuenca o la Dirección Local respectiva) y preguntar sobre esta posibilidad. La realidad es que en un mundo con personal gubernamental decreciente, los datos no se recolectan tan frecuentemente como deberían, ni tampoco se digitalizan tan rápidamente como se podría. Este posible retraso en la aparición de los datos recientes en la BDCN resulta especialmente importante cuando un evento extremo reciente es el que motiva el que la autoridad correspondiente quiera tomar medidas de control de inundaciones. En forma intuitiva, este último evento, tiende a ser tomado como “el de diseño” de dicha medida de control de inundaciones. De hecho, el caso que se maneja como ejemplo sobre el procesamiento de series de tiempo para valores extremos en el [Anexo 9](#) resulta un excelente ejemplo del caso que se ha descrito.

## Otra información sobre la BDCN

Resulta importante para los usuarios de la BDCN conocer el estándar de etiquetado con fecha que se usa por convención. Evidentemente, al realizarse las mediciones a las 8:00 AM los valores podrían ser etiquetados con dos fechas distintas. La del inicio del intervalo de 24 horas al que corresponden o la del final de intervalo de 24 horas al que corresponden. Por convención el etiquetado con fechas es como sigue:

- La precipitación pluvial diaria se etiqueta con la fecha del inicio del periodo (en la lógica de que 16/24 corresponden a ese día y solo 8/24 al siguiente día).

- La temperatura máxima diaria se etiqueta con la fecha del inicio del periodo (en la lógica que esta máxima ocurre entre 12:00 y 16:00 horas, por lo que la registrada a las 8:00 horas corresponde al día anterior).
- La temperatura mínima diaria se etiqueta con la fecha del final del periodo (en la lógica de que esta mínima se da al amanecer por lo que la registrada a las 8:00 horas corresponde a ese mismo día).
- La temperatura ambiente se etiqueta con la fecha del final del periodo, la fecha correcta a la que corresponde dicha medición instantánea.
- La evaporación diaria se etiqueta igual que la precipitación diaria (con la misma lógica).

Esta convención resulta de suma importancia al comparar los datos de la BDCN con otras posibles fuentes de datos similares (por ejemplo: los observatorios meteorológicos sinópticos de superficie o las estaciones meteorológicas automáticas). De no considerarlo podría nunca encontrarse coincidencia en mediciones geográficamente cercanas.

La BDCN se maneja en hora local y horario local. Las mediciones a las 8:00 horas en el este de México no son simultáneas con las mediciones al oeste de México. El cambio de horario de verano afecta la hora geográficamente correcta a la que se realizan las mediciones.

Para dar una idea de la distribución geográfica de la información en la BDCN, se presenta la siguiente tabla con el número de registros por entidad federativa en la totalidad de la BDCN (recuerde que un registro es un mes completo de mediciones de una sola variable en una sola estación):

Distribución geográfica de la información en la BDCN	
Aguascalientes	248,369
Baja California	344,559
Baja California Sur	492,173
Campeche	215,743
Coahuila	245,081
Colima	131,568
Chiapas	771,528
Chihuahua	507,680
Distrito Federal	149,463
Durango	431,177
Guanajuato	560,163

Distribución geográfica de la información en la BDCN	
Guerrero	657,501
Hidalgo	340,561
Jalisco	851,245
México	753,816
Michoacán	673,255
Morelos	222,631
Nayarit	190,129
Nuevo León	424,362
Oaxaca	807,762
Puebla	484,429
Querétaro	143,155
Quintana Roo	131,601
San Luis Potosí	545,139
Sinaloa	329,299
Sonora	643,606
Tabasco	176,098
Tamaulipas	570,613
Tlaxcala	121,834
Veracruz	956,367
Yucatán	206,861
Zacatecas	399,595

## El futuro

Evidentemente la tecnología que se utiliza en las estaciones climatológicas tradicionales (ECT's) es muy antigua. Sin temor a equivocarse se puede asegurar que instrumentos equivalentes existían desde 1850 (aunque a mayores precios que los actuales). Esto, *per se*, no tiene nada de malo, pero la red ha sido severamente criticada por algunos de sus usuarios (a veces injustamente) como en las aplicaciones para obtener una u otra tarifa preferencial en la energía eléctrica durante el verano o inclusive la definición de fenómenos extremos que incluyen otros efectos más allá de los que se manifiestan en las variables medidas. Por otro lado es difícil administrar finamente un sistema que tiene 3,300 operarios distribuidos en todo México que no son supervisados mas que ocasionalmente por empleados formales de las instituciones operadoras de las ECT's. Bajo estas condiciones el control y aseguramiento de la calidad son tareas muy difíciles de realizar. Por otro lado, se generan

fuertes asimetrías en las inversiones que se realizan. Por un lado el costo de los viajes para la recolección de datos es muy alto si se compara con la cantidad de datos que se recogen en cada sitio. Por otro lado, a pesar de que se gasta mucho más en obtener y recolectar la medición que en digitalizarla, el hecho es que lo primero se hace pero lo segundo tiende a no hacerse (al menos oportunamente). Es decir, gastamos los pesos pero no gastamos los centavos adicionales para hacer el dato realmente disponible.

Algunos de estos problemas se pueden resolver con equipos de medición automáticos, pero a costos relativamente altos. En los últimos años, nuevas tecnologías que han abaratado el precio de una Estación Climatológica Automática (ECA) hacen que esta solución empiece a ser factible, aunque por el momento sólo se tienen programas tentativos de prueba operacional de este tipo de equipos. Como muchos otros cambios tecnológicos, se hace necesario vencer las inercias existentes. De todas maneras es previsible que en el futuro relativamente cercano, se cuente ya con mediciones al menos horarias, que definan la climatología del ciclo diurno, que los datos sean digitales de origen y que éstas no dependan de la manipulación de cada uno de los alrededor de 3,300 operadores distintos; y esto a precios en el mismo orden de magnitud que de todas maneras estamos pagando en estos momentos.

Quizá nunca un sistema tan importante para el país haya recibido tan poco apoyo para operarlo, idealmente, en forma perfecta (exacta, precisa, oportuna, disponible para todos, con densidad afín a los fenómenos que pretende definir, con tecnología apropiada, etcétera). Aún así, la riqueza dentro de la BDCN es asombrosa y, paradójicamente, aún hoy en día subutilizada.

## Anexo 12. Descripción del Sistema de Información Hidroclimatológica

El Sistema de Información Hidroclimatológica (SIH), de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) de la Subdirección General Técnica (SGT) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es una herramienta computacional montada como una página de Intranet que permite a los usuarios internos de la institución acceder a diversos tipos de información que resultan de interés para el tema del presente manual. La información accesible a través de este sistema es tanto de parámetros atmosféricos (incluyendo lluvia) como de niveles de la superficie libre en cuerpos de agua y caudales en cauces. No es un sistema al que tenga acceso el público en general.

Originalmente fue elaborado como una herramienta de cómputo a través de la cual el personal de CONAGUA adscrito a alguna de sus Direcciones Locales o a alguno de sus Organismos de Cuenca concentraba los datos del subconjunto de las estaciones climatológicas tradicionales que reportaban diariamente y de las estaciones hidrométricas; para su uso y explotación tanto en Oficinas Centrales de CONAGUA como en cualquiera de sus Direcciones Locales u Organismos de Cuenca. Pero aprovechando sus múltiples capacidades de búsqueda y despliegue de información fue creciendo para adquirir también las siguientes funciones:

- Integración de los datos de las estaciones meteorológicas automáticas que opera la CONAGUA, principalmente a través de GASIR y del SMN, así como su acceso en tiempo casi real (ya que transmiten vía satélite GOES cada tres horas o cada hora, dependiendo del nivel de actualización del transmisor existente en cada una de ellas). GASIR denomina a estas estaciones como PCD's, que son las siglas de Plataforma Colectora de Datos, mientras que el SMN las denomina con las siglas EMA's. Esta información es de gran utilidad para toma de decisiones en tiempo real, pero los puntos de medición aún no cuentan con

- gran longevidad como para hacer análisis de valores asociados con algún periodo de retorno en específico.
- Incorporación de los datos del producto BANDAS (ver Anexo 10).
  - Incorporación de datos de la base de datos climatológica nacional administrada con CLICOM (ver Anexo 11).
  - Incorporación de una base de datos de un grupo selecto de estaciones climatológicas denominadas como estaciones de referencia.
  - Los datos de cada día se van incorporando a la base de datos una vez que son capturados localmente y transmitidos al servidor central a través del propio SIH. En este sentido cuenta con datos transmitidos en casi tiempo real desde 1995, más los datos antes mencionados de otras bases de datos hidrométricas y climatológicas históricas. No debe esperarse una coincidencia exacta entre la totalidad de los valores que se encuentran tanto en el SIH como en la base administrada con CLICOM, debido a que se alimentan de capturas distintas, la del SIH presionada por su aplicación en tiempo real, la de CLICOM a *posteriori* sin fechas u horarios fijos que cumplir. Además existe el hecho de que la base administrada con CLICOM se sigue actualizando con datos recientemente digitalizados muy frecuentemente, que pueden corresponder a cualquiera de las estaciones climatológicas de la red y no solamente aquellas del subconjunto que reporta diariamente sus mediciones.

Por su carácter propio, el SIH debe estar más actualizado en datos de tiempo real y datos relativamente recientes, mientras que la base administrada con CLICOM debe ser más completa en términos de datos históricos de mayor antigüedad.

Es importante establecer que los datos de las estaciones meteorológicas automáticas (EMA's) administradas por el SMN tienen un mecanismo de publicación en Internet (abierto al público) para los intervalos de medición recientes:

- Las 24 horas previas a la última transmisión con máxima resolución de un valor cada 10 minutos (representativo del valor medio en dichos 10 minutos).
- Los siete días previos a la última transmisión con resolución de un valor cada hora (representativo del valor medio en dicha hora).

- Los últimos 90 días, con una resolución de un valor cada día (representativo del valor medio en ese día).

Sin embargo a la fecha de elaboración de este manual no existe un mecanismo formal de almacenamiento estructurado y acceso a sus datos históricos, más allá del propio SIH. En este sentido, el SMN mantiene juegos de datos de las EMA's que pueden ser solicitados para consulta, pero que no se encuentran dentro de una base de datos formal. De igual manera, los datos de las estaciones climatológicas en CLICOM, aunque sí se encuentran dentro de una base de datos formal, no cuenta con un mecanismo formal de acceso público más allá de la solicitud de los datos requeridos. Al menos al interior de la CONAGUA, el SIH brinda esta funcionalidad.

Por razones del carácter público de este manual y del carácter de uso interno en la CONAGUA del SIH, no se presenta la dirección electrónica en este documento.



# Anexo 13.

## Descripción del producto

### MAYA v1.0

#### MAYA v1.0

Como ya se ha explicado en el [anexo 11](#), el espinazo de la base de datos climatológica nacional es aquella parte que corresponde a las mediciones históricas realizadas en las estaciones climatológicas tradicionales (que por brevedad llamaremos ECT's) y que es administrada a través de la herramienta computacional CLICOM. Ésta es un excelente depósito de los datos originales, pero tiene dos problemas que no resultan menores:

1. Para estudios no puntuales, las estaciones disponibles en el área de estudio no resultan uniformes a lo largo del tiempo. Por ejemplo: para estudiar la historia de precipitaciones dentro de una cierta cuenca, en un cierto intervalo de la historia de mediciones puede tener disponibles las estaciones:

- A, B, D, F, G, I, J,

En otro intervalo de tiempo pueden estar disponibles las estaciones:

- A, C, E, F, H, I, J,

Y en un tercer intervalo pueden estar disponibles:

- B, C, E, F, G, I.

Lo ideal sería que durante toda la historia de mediciones las estaciones utilizadas fueran exactamente las mismas, que de aplicarlo al ejemplo reduciría las estaciones utilizadas a solamente dos: F e I. Evidentemente, con una base de datos porosa, actuando en forma estricta, manteniendo solamente las estaciones que se encuentran disponibles en todo el intervalo de medición, nos puede llevar a mantener una base de datos que no sea representativa de lo que realmente ocurre en detalle sobre la zona de estudio.

2. El manejo de la información sobre una malla irregular de medición puede resultar computacionalmen-

te lento, esto aún para las máquinas computadoras actuales.

A primera vista, parecería que no queda otra solución más que trabajar con los datos que se midieron en su forma original a pesar de las desventajas mencionadas; afortunadamente esto no es así, pues podemos interpolar todos los datos disponibles en cada uno de los días en el intervalo de interés sobre una malla regular de nodos, una que tenga una distribución uniforme del espacio entre un nodo y otro, y después explotar la base de datos climatológica nacional a partir de esta forma alternativa.

#### La justificación intuitiva de MAYA v1.0

Si en el ejemplo de tres subintervalos de tiempo dentro del intervalo histórico de interés, cada uno de ellos con un conjunto de estaciones disponibles distintas, se quisiera aumentar el número de estaciones utilizadas, podríamos sintetizar un valor realista de las mediciones que hubiesen sido obtenidas por cada una de las estaciones faltantes en el subintervalo, a través de interpolar las mediciones sí disponibles de las estaciones vecinas.

Por ejemplo: en el primer intervalo se podrían obtener valores sintéticos de las mediciones en C, E y H interpolando los valores medidos en A, B, D, F, G, I y J. Después de hacer algo análogo en el segundo y en el tercer subintervalo, se tendría una muestra completa de todas las estaciones (diez) en la totalidad del intervalo histórico de interés, claro está, la mayoría de los valores medidos pero algunos de los valores sintéticos. La justificación de la síntesis por interpolación sería que tendríamos la mejor estimación posible del valor del campo de la variable en el sitio de la estación ausente, dados los datos disponibles. En general esta idea sería intuitivamente aceptada por casi todos ¿Habría alguna diferencia al sintetizar un valor del campo de la variable en un sitio en el que no existe una estación de medición?

#### ¿Qué es el producto MAYA v1.0?

MAYA v1.0 es el resultado de un gigantesco ejercicio de síntesis de valores sobre sitios espaciados a distancias regulares tanto en la dirección sur a norte como en la dirección oeste a este, a partir de todos los valores medidos en estaciones vecinas a la ubicación de cada

uno de los nodos. Esta síntesis se realizó para cada uno de los días en el intervalo de tiempo de interés con la totalidad de las mediciones disponibles en cada día en particular. Al final, es el re-mapeo de una manifestación del campo diario de una variable en una serie de puntos espaciados uniformemente. La justificación intuitiva es que, si el campo continuo de la variable sobre el terreno resulta muy similar entre el original y el sintetizado, no estamos cambiando nada importante.

Es necesario advertir que esta idea pone nerviosos a casi todos los climatólogos tradicionales. Su justificación es muy común en la ingeniería (vs la ciencia) y es que obtenemos aproximaciones aceptablemente buenas de la realidad, pero facilitando enormemente el trabajo computacional para realizar análisis relativamente complejos. Si el lector es uno de esos que se pone nervioso por usar la interpolación, sólo piense que haría si: a partir de los puntos medidos, le pidieran que generara un mapa de la distribución de la variable sobre la zona de interés ¿Qué haría usted? Pues interpolaría entre los valores puntuales disponibles. Nada distinto a lo que se ha hecho en MAYA v1.0 con respecto a los datos originales manejados con CLICOM.

## Descripción de la malla en MAYA

La malla regular de nodos en el producto MAYA v1.0 es una que cubre la totalidad del territorio continental de México. Va de la longitud  $-117.2^\circ$  (o  $117.2^\circ$  W) a la longitud  $-86.0^\circ$  (o  $86.0^\circ$  W) y de la latitud (norte)  $+14.0^\circ$  a la latitud (norte)  $+33.0^\circ$ . Se trata de una malla de 96 renglones por 157 columnas, es decir de 15,072 nodos. Los nodos están separados entre sí por  $0.2^\circ$  en ambas direcciones ortogonales. Por supuesto, muchos de estos nodos caen sobre zonas marítimas y por ende no tienen su valor definido (no medimos variables climatológicas sobre el mar); 4,542 nodos tienen valor definido al encontrarse sobre tierra y 10,530 no lo tienen por estar sobre el mar. La separación entre nodos equivale en forma burda a aproximadamente 20 km de distancia, es decir se tiene un valor por cada  $400 \text{ km}^2$  del territorio nacional.

## Intervalo y resolución temporal

El intervalo cubierto es de 40 años, desde el 1° de enero de 1961 hasta el 31 de diciembre de 2000, es decir

14,600 días. Los días 29 de febrero de los años 1964, 1968, 1972, 1976, 1980, 1984, 1988, 1992, 1996 y 2000 no aparecen en la base de datos. La resolución temporal es igual a la original de los datos, diaria. Como en el caso de la base de datos administrada con CLICOM, los días van de las 8 horas local de un día a las 8 horas local del día siguiente. Cada día se etiqueta con la fecha del cierre del intervalo diario que representa (lo que no coincide en todas las variables con la convención utilizada en CLICOM).

## Las variables y “vistas” manejadas

Tres de las cinco variables que se miden cuantitativamente en las estaciones climatológicas tradicionales se manejan en MAYA v1.0:

- La temperatura mínima diaria ( $^\circ\text{C}$ ).
- La temperatura máxima diaria ( $^\circ\text{C}$ ).
- La precipitación pluvial (mm).

Las otras dos son temperatura ambiente a la hora de la lectura (8 horas local) y evaporación diaria.

Los datos se manejan en dos “vistas” (formas de visualizar los datos) distintas:

- como mallas regulares diarias desde el 1° de enero de 1961 hasta el 31 de diciembre de 2000, o sea 14,600 matrices de  $96 \times 157$  valores para cada una de las tres variables,
- como series de tiempo de 14,600 valores cada una, para cada uno de los 4,542 nodos sobre el territorio continental de México.

La primera forma es adecuada para estudiar los campos de las variables (sus “mapas”) y la segunda forma es adecuada para estudiar la evolución casi puntual de las variables en el tiempo.

## El algoritmo de interpolación

De los numerosos algoritmos de interpolación posibles se seleccionó uno de los más simples y utilizados: el de promedio pesado de los valores en las estaciones vecinas con pesos proporcionales al inverso del cuadrado de la distancia de cada estación al nodo en cuestión. Se utilizaron un máximo de las 24 estaciones vecinas más cercanas manteniendo el mínimo número de estaciones

que producen un valor nodal en 5 estaciones vecinas. La búsqueda de las 24 estaciones vecinas se realiza en cuatro cuadrantes alrededor del nodo (NW, NE, SW, SE) con hasta 6 estaciones en cada cuadrante.

## Fracción de los datos

La interpolación sobre la malla regular se realizó para un cierto estado de la base de datos climatológica manejada con CLICOM, a finales de 2004. Se estima que en dicho momento el 95% de los datos existentes en papel habían sido ya digitalizados e incorporados a la base de datos, esto en referencia al intervalo 1961-2000. Naturalmente, los años con menor fracción de los datos totales son los más recientes: 2000, 1999 y 1998 en ese orden.

El algoritmo de interpolación obtiene un valor nodal para casi el 100% de los nodos y casi el 100% de las fechas de 1961 a 2000. Solamente en algunas zonas aisladas del norte de México y solamente para algunos intervalos en 1998, 1999 y 2000 se tienen valores nodales no definidos. La recomendación para usuarios que requirieran dichas zonas y fechas es eliminar los años completos en los que aparecen los valores no definidos, lo que en el peor de los casos reduciría la muestra histórica a 37 años, contra los 40 años de la mayor parte de los nodos.

## Representatividad de los datos

En contraste con las mediciones puntuales que aparecen en la base de datos administrada con CLICOM, los valores nodales no son representativos de sólo un punto (el de medición) sino de un área alrededor del nodo dentro de la cual se encontraron las 24 estaciones vecinas más cercanas ¿De qué distancia alrededor del nodo es representativo el valor nodal? Esto depende, naturalmente, de la densidad de estaciones en diferentes partes de la geografía nacional y, por supuesto, en la fecha en la que estemos interesados. Un estudio realizado sobre la distancia promedio de las 24 estaciones más cercanas produjo un resultado muy concreto: entre 30 y 70 km, o en forma alternativa, los valores nodales representan promedios en áreas que van de 900 km<sup>2</sup> a 4,900 km<sup>2</sup>. Dado que el algoritmo da mucho mayor peso a las estaciones más cercanas, en orden de magnitud, la representatividad de cada valor nodal es similar a la separación entre nodos, del orden de 20 km a la redonda o del orden

de 400 km<sup>2</sup> por nodo. Esta selección de separación entre nodos no es, evidentemente, un accidente.

Dada esta característica, resulta importante enfatizar que las comparaciones estadísticas entre eventos recientes y la muestra histórica **no deben realizarse en forma mezclada**, por ejemplo: comparando una medición puntual actual contra las estadísticas de valores nodales en MAYA v1.0 o viceversa. Las únicas comparaciones razonables son “peras con peras y manzanas con manzanas”.

Esta misma característica es la que “pone de nervios” a muchos climatólogos tradicionales, esto porque el proceso de interpolación suaviza el campo de la variable y rasura los picos de su distribución geográfica. Esto es cierto, pero en la aplicación más típica que se asocia con el tema de este manual estamos interesados mucho más en los valores representativos del área de la cuenca que en los valores puntuales. Aún en los eventos extremos, los picos, estamos más interesados en el volumen total precipitado dentro de la cuenca que en su manifestación puntual en algún sitio en particular como una lámina de precipitación. Los puristas alegan que, utilizando datos interpolados sobre una malla regular perdemos los extremos, que son de gran interés. A estos puristas se responde: ¿qué es lo que los hace pensar que en la base de datos climatológica original (puntual) la ubicación de alguna de las estaciones en realidad era tal que le permitió capturar verdaderamente el valor pico (máximo o mínimo) del verdadero campo de la variable. Dicho verdadero campo no es conocido, solamente su manifestación puntual sobre las estaciones lo es, en el caso original; solamente su manifestación sobre los nodos lo es, en el caso de malla regular.

Esto no implica que las mediciones originales se dejarán de almacenar y que algo así como MAYA v1.0 substituirá a la base de datos administrada con CLICOM. Por el contrario, sin la base de datos original, productos como MAYA no se pueden generar (o re-generar). Pero re-empacamientos de información como lo es MAYA sí permiten un procesamiento mucho más ágil de datos que directamente de la base de datos puntual original.

## Agrupamientos de los resultados

Diferentes usuarios pueden requerir los resultados (las mallas regulares o las series de tiempo nodales) agrupadas

de distinta manera, MAYA v1.0 se tiene disponible para distribuir en varias formas redundantes. Un usuario que requiriera todas las formas redundantes tendría que invertir del orden de 30 GB de su disco duro en ello (o del orden de 7 DVD's de una sola cara o del orden de 44 CD's), pero tendría cada dato almacenado en forma redundante varias veces.

Los agrupamientos son:

- Anual (todos los archivos de un solo año en un solo directorio).
- Mensual (todos los archivos de un solo mes del año –para los 40 años de la muestra– en un solo directorio).
- Mensual “cuatrapeados”; similar al anterior pero para intervalos que van del 16 de enero al 15 de febrero, del 16 de febrero al 15 de marzo, del 16 de noviembre al 15 de diciembre y del 16 de diciembre al 15 de enero.
- Temporal, por ejemplo: de lluvias y temporada de estiaje.

Existen sub-agrupamientos dentro de éstos, por ejemplo: por mes dentro de cada año en el inciso (a).

## Formato de los archivos

Todos los archivos de MAYA v1.0 tienen formato de texto ASCII, tanto los de mallas regulares, como los de series de tiempo. Esto es, la herramienta de acceso a ellos puede ser tan simple como un editor de texto, un procesador de palabra, una hoja de cálculo o múltiples otras herramientas especializadas que pueden acceder a este tipo de archivos. MAYA v1.0 no viene acompañado por herramienta de acceso particular, es solamente la colección de todos los archivos de datos.

Los nombres de cada uno de los archivos indican:

- En las mallas regulares: la variable y la fecha a la que se refiere.
- En las series de tiempo: la variable y las coordenadas del nodo al que se refiere; estas coordenadas expresadas en décimas de grado con cuatro cifras para las longitudes y tres cifras para las latitudes.

El formato de cada una de las mallas regulares es:

- Una línea de encabezado genérico (el estándar de la herramienta computacional Surfer versiones 7 y 8, las cuatro letras “DSAA”).
- Una línea con el número de columnas y el número de renglones de la malla regular, en este caso siempre 157 y 96.
- Una línea con los valores mínimo y máximo de la coordenada “x” (oeste a este), en este caso específico siempre -117.2 y -86.0.
- Una línea con los valores mínimo y máximo de la coordenada “y” (sur a norte), en este caso siempre 14.0 y 33.0.
- Una línea con los valores mínimo y máximo de la variable nodal (digamos la variable “z”).
- 96 bloques de 157 valores cada uno;
- Cada bloque representa una línea oeste a este de valores, el primero correspondiente a la latitud mínima de 14°N, el último correspondiente a la máxima latitud 33°N.

Cada bloque contiene 16 líneas de texto. Cada línea contiene 10 valores nodales, excepto la última del bloque que contiene solamente siete valores (para un total de 157 valores por bloque). Entre bloques se utiliza una línea en blanco para identificar el fin de bloque. Entre el encabezado y el primer bloque no hay línea en blanco. El orden de los bloques es de sur a norte, es decir, siguiendo la convención matemática de valores de la coordenada “y” de menor a mayor (vs la convención de “imagen” iniciando con la esquina superior izquierda).

En total cada archivo de malla regular contiene 1,637 líneas.

En el caso de las series nodales de tiempo, el formato de cada archivo es el siguiente:

- Una línea de encabezado que incluye las coordenadas del nodo.
- Catorce mil seiscientas líneas de datos, una por día con columnas para valor de la variable y fecha separados por secuencias de uno o más espacios consecutivos. El orden usual no es cronológico, sino que están ordenados de menor valor nodal a mayor valor nodal. Las 14,600 líneas existen sólo para las series anuales completas. Las series de datos diarios para cierto mes en particular, cierto mes “cuatrapeado” en particular o cierta temporada en particular tendrán un número

distinto (menor, por supuesto) de líneas. El formato de la fecha es “dd/mm/aaaa” con el mes en número.

El separador entre valores nodales es una secuencia de uno o más espacios consecutivos. Al inicio de cada línea de valores puede existir un espacio en blanco (usualmente inconsecuente). Al final del último bloque también aparece una línea en blanco (antes del carácter de control “final de archivo”). Al término de cada línea se encuentran los caracteres de control <CR> y <LF> (retorno de carro y alimentación de línea en su traducción literal del inglés) al estilo de MS-DOS/Windows, por lo que en máquinas corriendo Mac OS o UNIX o Linux podrían aparecer líneas adicionales en blanco entre cada línea real de datos (pues están esperando únicamente el carácter <CR>).

La bandera de “valor no definido” para los nodos sobre el mar (y en algunos casos en el norte de México en los años 1998, 1999 y 2000) es el número más grande que se puede escribir como Real de 4 bytes, redondeado a 5 espacios, que resulta ser “ZE+38”. No puede ser confundido con ningún valor posible de ninguna de las variables, y ciertas aplicaciones pueden requerir substituirlo por otra bandera que signifique lo mismo en el contexto de la herramienta que se usa (por ejemplo: substituirlo por una celda en blanco antes de hacer estadísticas sobre la muestra en hoja de cálculo).

## Ventajas de MAYA v1.0

La base de datos interpolada en malla regular presenta las siguientes ventajas con respecto a la original de mediciones puntuales:

- Prácticamente, todos los nodos tienen un valor para cada día, no existen huecos; el valor representa la mejor estimación posible de la variable en dicho nodo, dadas las mediciones disponibles y para el algoritmo de interpolación utilizado.
- La velocidad de procesamiento es mucho mayor que en el caso de los datos medidos en las estaciones puntuales originales; aún cálculos relativamente complejos requieren solamente unos cuantos segundos en máquinas de escritorio modernas.
- La velocidad de procesamiento es tal que, aún cuando se tenga interés solamente en una cierta región (digamos una cuenca) los cálculos se pueden realizar a nivel nacional y hasta el final recortar el resultado al

interior del rectángulo o interior del contorno irregular de interés.

## Aplicación típica en el tópico de este manual

Digamos que se está interesado en una cierta cuenca que incluye en su interior cinco nodos de la malla regular, es decir, una cuenca aproximadamente de entre 1,800 km<sup>2</sup> y 2,200 km<sup>2</sup>. Se pretende formar una serie de tiempo ininterrumpida de lluvias promedio sobre la cuenca para el intervalo completo de 1961 a 2000. De ella se pretenden extraer los valores máximos anuales para definir la precipitación correspondiente a un cierto periodo de retorno. Los pasos a seguir serían:

- Se identifican las coordenadas de los cinco nodos que se encuentran dentro de la cuenca.
- Se vacían los datos en hojas de cálculo (Excel) de cada una de las cinco series, ordenándolas cronológicamente de acuerdo a la segunda columna (fecha).
- Se integran las cinco series en una sola hoja de cálculo. Opcionalmente se pueden eliminar las columnas de fecha redundantes.
- Se crea una nueva (sexta) columna de datos con la fórmula del promedio aritmético de los cinco valores nodales. Esta columna calculada es de hecho la serie de la lámina promedio dentro de la cuenca. El promedio aritmético funciona porque cada uno de los nodos representa prácticamente la misma área.
- Para cada uno de los 365 renglones que forman cada año se calcula el máximo valor anual. Opcionalmente se puede calcular la fecha a la que corresponde.
- Todos los (40) máximos anuales se integran en una serie que se re-ordena como se explica en el capítulo 1.2. De esta serie se obtiene el valor correspondiente a un cierto periodo de retorno (interpolando si es menor que 40 años o ajustando una distribución de probabilidad de valores extremos si es mayor a 40 años).

Observe que los máximos anuales de la lámina promedio sobre la cuenca no necesariamente coinciden con los máximos anuales de cada una de las series nodales.



## Limitaciones de MAYA v1.0

El producto, ciertamente no es perfecto. Se enlistan una serie de limitaciones:

- Los valores nodales interpolados fueron obtenidos directamente de los datos de CLICOM sin controles de calidad adicionales. Algunos de los valores nodales pueden estar contaminados por valores medidos puntuales incorrectos. Aún así, salvo excepciones, el efecto de una sola estación incorrecta debe ser relativamente menor, pero por lo mismo, la identificación de datos obviamente equivocados se hace más difícil.
- El algoritmo de interpolación utilizado no considera la anisotropía que podría provenir del relieve topográfico, es decir, sólo considera cualquier valor vecino en forma independiente a que su altitud sobre el nivel del mar sea más o menos parecida a la del nodo en cuestión.
- En efecto, los valores máximos y mínimos medidos se ven suavizados en cierto grado, y son difíciles de evaluar de los datos nodales. En aplicaciones que esta suavidad afecta significativamente el resultado, se debe recurrir a los datos puntuales originalmente medidos en la base de datos administrada con CLICOM.
- La franja costera y la franja aledaña a las fronteras internacionales pueden contener datos sesgados hacia las mediciones en el interior del país, pues en ellas el resultado nodal puede ser el resultado de una interpolación en solo un hemisferio (o menos) alrededor del nodo.

## Documentación

Lamentablemente, a la fecha de elaboración de este informe la base de datos interpolada en malla regular MAYA v1.0 no ha sido documentada formalmente con un **manual de usuario**. Sin embargo, múltiples presentaciones han sido realizadas que muestran (y demuestran) la mayor parte de sus capacidades y limitaciones, así como ejemplifican múltiples aplicaciones. Mientras esto se corrige, se recomienda hacer contacto vía correo electrónico a [raul.larios@conagua.gob.mx](mailto:raul.larios@conagua.gob.mx) para solicitar la documentación informal existente. Este mismo correo es el adecuado para solicitar la base de datos en sí. Para aclaraciones técnicas o recomendaciones se recomienda hacer contacto al correo electrónico [michel.rosengaus@conagua.gob.mx](mailto:michel.rosengaus@conagua.gob.mx).

## Créditos

La elaboración inicial de MAYA v1.0 por el Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua fue subcontratado a la Consultora Nacional de la Organización Mundial de Meteorología M.C. Isabel Quintas, adscrita a la Universidad Autónoma Metropolitana.

# Anexo 14.

## Atlas de riesgo para zonas de inundación

Existen varias leyes que obligan a la elaboración e incluso a la actualización de los atlas de riesgos, a diferentes niveles.

A nivel federal, se encuentra la Ley de Aguas Nacionales que obliga a la Comisión Nacional del Agua a efectuar una identificación de las zonas de riesgo, mientras que a nivel estatal las 32 Leyes Estatales de Protección Civil, incluyendo la del Distrito Federal, señalan la obligación de la elaboración y en algunos casos la actualización del atlas de riesgo. En 18 de los estados, la obligación primaria es de los municipios, mientras que en el resto, se asigna la obligación al nivel estatal.

### Ley de Aguas Nacionales

Artículo 9. “La Comisión” es un órgano administrativo desconcentrado de “la Secretaría”, que se regula conforme a las disposiciones de esta Ley y sus reglamentos, de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y de su Reglamento Interior.

“La Comisión” tiene por objeto ejercer las atribuciones que le corresponden a la autoridad en materia hídrica y constituirse como el Órgano Superior con carácter técnico, normativo y consultivo de la Federación, en materia de gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo la administración, regulación, control y protección del dominio público hídrico.

En el ejercicio de sus atribuciones, “la Comisión” se organizará en dos modalidades:

- a) Nivel nacional, y
- b) Nivel regional Hidrológico-Administrativo, a través de sus Organismos de Cuenca.

Las atribuciones, funciones y actividades específicas en materia operativa, ejecutiva, administrativa y jurídica, relativas al ámbito federal en materia de aguas nacionales y su gestión, se realizarán a través de los Organismos de Cuenca, con las salvedades asentadas en la presente Ley.

Es atribución de “la Comisión” en su nivel nacional, la siguiente:

- XLIII. Realizar las declaratorias de clasificación de zonas de alto riesgo por inundación y elaborar los atlas de riesgos conducentes;

### Reglamento Interior CNA-DOF 30-10-2006

ARTÍCULO 13. Corresponden al Director General de la Comisión las siguientes atribuciones:

- XV. Expedir declaratorias de:
  - a) Propiedad nacional de las aguas y de sus bienes públicos inherentes;
  - b) Clasificación de los cuerpos de aguas nacionales, y
  - c) Clasificación de zonas de alto riesgo por inundación y expedir los atlas de riesgos conducentes;

ARTÍCULO 36. Corresponden a la Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento las siguientes atribuciones:

- I. Ejercer las funciones que corresponden a la Comisión como órgano superior, técnico, normativo y consultivo de la Federación en materia de obras, sistemas y servicios de agua potable, alcantarillado, saneamiento, reúso e intercambio de aguas residuales tratadas y de acciones de protección contra inundaciones a centros de población;

ARTÍCULO 42. Corresponden a la Gerencia de Infraestructura Hidráulica Pluvial de la Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento las siguientes atribuciones:

- VI. Clasificar las zonas de riesgo en zonas urbanas y formular el atlas correspondiente a nivel nacional, coordinadamente con los Organismos, las entidades federativas y municipios;

ARTÍCULO 52. Corresponden a la Subdirección General Técnica las siguientes atribuciones:

- V. Establecer las bases técnicas para la expedición de:
  - d) Declaratorias de clasificación de alto riesgo por inundaciones y elaboración de los atlas de riesgos por inundaciones a nivel nacional;

ARTÍCULO 54. Corresponden a la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos las siguientes atribuciones:

- XIII. Apoyar en las declaratorias de clasificación de zonas de alto riesgo por inundación elaboradas por los Organismos, así como en los atlas de riesgos por inundación a nivel nacional;

ARTÍCULO 55. Corresponden a la Gerencia del Consultivo Técnico las siguientes atribuciones:

- VIII. Participar en la elaboración de las declaratorias de clasificación de zonas de alto riesgo por inundación, así como de los atlas de riesgos conducentes;

ARTÍCULO 82. Corresponden a la Dirección Técnica del Organismo de Cuenca las siguientes atribuciones:

- XXIII. Formular proyectos de declaratorias de clasificación de zonas de alto riesgo por inundación y de atlas de riesgos por inundación o por afectación de la calidad de las aguas nacionales, en lo concerniente a sus aspectos técnicos;

### Manual de Organización General, mayo de 2008

La Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos tiene entre sus funciones: coordinar el apoyo en las declaratorias de clasificación de zonas de alto riesgo por inundación, elaboradas por los organismos de cuenca, así como en los atlas de riesgos por inundación a nivel nacional.

## Anexo 15. Marco legal del FONDEN y FOPREDEN

El FONDEN fue creado para atender los efectos de desastres naturales, imprevisibles, cuya magnitud supere la capacidad financiera de respuesta de las dependencias y entidades paraestatales, así como de las entidades federativas.

Le compete a la Secretaría de Gobernación la operación de este Fondo y conforme a su Reglamento Interior, en el artículo 33 la Dirección General del Fondo de Desastres Naturales tiene las siguientes atribuciones:

- I. Auxiliar al Secretario en el ejercicio de las funciones que, en materia del Fondo de Desastres Naturales, las leyes, reglamentos y demás disposiciones normativas aplicables le señalen a la Secretaría de Gobernación;
- II. Analizar y evaluar las solicitudes que formulen los gobiernos de las entidades federativas, así como las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, para acceder a los recursos del Fondo de Desastres Naturales;
- III. Preparar la celebración de acuerdos o convenios de coordinación o colaboración con las entidades federativas en materia de prevención y atención de desastres naturales y someterlos al dictamen de la Unidad de Asuntos Jurídicos;
- IV. Coadyuvar con los ámbitos estatal y municipal de gobierno, en la constitución de fideicomisos estatales y demás instrumentos para la atención de desastres naturales;
- V. Participar y, en su caso, analizar las solicitudes con cargo al patrimonio del Fideicomiso Preventivo a que alude el artículo 32 de la Ley General de Protección Civil;
- VI. Llevar el control y la administración del Fondo Revolvente para la Adquisición de Suministros de Auxilio en Situaciones de Emergencia y de Desastre;
- VII. Someter a consideración de la Coordinación General de Protección Civil los proyectos de declaratoria de Emergencia o de Desastre, de acuerdo con las disposiciones que resulten aplicables;

- VIII. Llevar el registro y control del equipo especializado que se adquiera con cargo al Fondo de Desastres Naturales;
- IX. En el ámbito de su competencia, proponer los criterios normativos, formatos y demás instrumentos necesarios para la adecuada y eficaz aplicación de las leyes y disposiciones normativas que regulan el Fondo de Desastres Naturales;
- X. Elaborar propuestas y establecer conductos institucionales tendientes a agilizar los procedimientos que regulan el Fondo de Desastres Naturales, así como impartir cursos en la materia, y
- XI. Las demás que le señale el Secretario, dentro de la esfera de sus facultades.

## Elementos normativos y de apoyo

El 19 de septiembre de 2006 y considerando que para dar inicio a la brevedad a las acciones de atención a la población damnificada, así como a los trabajos de reconstrucción de la infraestructura dañada y de restitución de los recursos forestales, áreas naturales protegidas, zonas costeras, cauces de ríos y lagunas afectados por un desastre natural, se ha estimado necesario agilizar y facilitar el procedimiento para la entrega de los recursos federales a las entidades federativas y dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, así como eliminar la participación de instancias que no resultan indispensables en el desarrollo del procedimiento; además de haber sido un constante reclamo tanto de la sociedad como de las autoridades involucradas con la ejecución de los recursos del Fondo de Desastres Naturales, establecer un marco jurídico-operativo que permita actuar con la mayor oportunidad y transparencia para atender los estragos que ocasionan los fenómenos perturbadores; por esto se publicaron en el Diario Oficial de la Federación las nuevas:

- Reglas de Operación del Fondo de Desastres Naturales.
- Anexos de las Reglas de Operación del Fondo de Desastres Naturales.
- Anexos de las Reglas de Operación del Fondo de Desastres Naturales.
- Formato de Acta de Instalación del Comité de Evaluación de Daños Natural (CED).
- Formato de Acta de Entrega de Resultados del Comité de Evaluación de Daños (CED).

- Formato para Presentación de Diagnóstico de Obras y Acciones de Reconstrucción y Solicitud de Recursos.
- Formato de Solicitud de Declaratoria de Desastre Natural.
- Formato de Solicitud de Corroboración de Desastre Natural.

### Normatividad:

- Reglas de operación del FONDEN 2008.
- Lineamientos para emitir las Declaratorias de Emergencia y la utilización del Fondo Revolvente del FONDEN.
- Reglas de Operación del FOPREDEN 2006.
- Lineamientos para la Operación del Fideicomiso Preventivo, previsto en el Artículo 32 de la Ley General de Protección Civil (FIPREDEN).
- Ley General de Protección Civil (última reforma publicada en el DOF el 24 de abril de 2006).

## Fondo revolvente del FONDEN

El 20 de septiembre de 2006, se publicó en el Diario Oficial de la Federación considerando que el Programa Nacional de Protección Civil 2001-2006 ha establecido como visión ser un órgano de excelencia en el diseño, desarrollo y aplicación de acciones preventivas y de atención oportuna a emergencias, con la participación de los sectores público, social y privado y de una población consciente, capacitada y organizada, que se mantiene informada para enfrentar posibles desastres, que confía en la autoridad y está dispuesta a colaborar corresponsablemente para reducir la vulnerabilidad identificada y mitigar los daños, en situaciones de emergencia así como los daños provocados por un desastre natural

## Diagnóstico

- Establecer con mayor claridad el objetivo del FONDEN y su ámbito de aplicación;
- Señalar la necesidad de avanzar en acciones de prevención y de aseguramiento para mitigar los efectos ocasionados por desastres naturales, evitando que la existencia del FONDEN desincentive estos esfuerzos;
- Definir el concepto de desastre natural y los fenómenos que lo ocasionan;
- Clarificar el esquema de coordinación entre las dependencias y entidades federales, así como entre éstas y las autoridades estatales;

- Señalar el procedimiento para que las dependencias y entidades federales actúen sin vacilación ni demora ante situaciones de emergencia, apoyando en sus necesidades inmediatas a toda la población afectada;
- Indicar, con espíritu solidario, el apoyo adicional que se le otorga a la población de bajos ingresos para contribuir a restituir su patrimonio familiar y productivo;
- Establecer la cobertura para atender los daños ocasionados a la infraestructura pública, a bosques, costas, lagunas y áreas naturales protegidas, así como al patrimonio cultural e histórico;
- Precisar en qué casos y en qué proporción existirá concurrencia de recursos entre el Gobierno Federal y los gobiernos estatales, municipales y del Distrito Federal, para la atención de los daños y de damnificados;
- Relacionar el procedimiento que las autoridades estatales y las federales deberán seguir para acceder a los recursos del FONDEN, así como los mecanismos para la aplicación de los mismos; y,
- Señalar la responsabilidad a nivel estatal y federal respecto al control, la verificación y la rendición de cuentas en el uso de los recursos.

## Estrategias

El FONDEN es un mecanismo financiero, ágil y transparente para que en la eventualidad de un desastre natural, el Gobierno Federal pueda:

- I. Apoyar a través del Fondo Revolvente a la población que pudiera verse afectada ante la inminencia o alta probabilidad de ocurrencia de un desastre natural que ponga en peligro a la vida humana;
- II. Apoyar ante la ocurrencia de un desastre natural a toda la población afectada dentro de zonas siniestradas en sus necesidades inmediatas de protección a la vida, salud, alimentación, vestido y albergue;
- III. Atender, dentro de una determinada zona geográfica, la reparación de daños a la infraestructura pública y bienes públicos no sujetos a aseguramiento;
- IV. Combatir, restituir en la medida de lo posible, los siniestros en bosques y áreas naturales protegidas;
- V. Apoyar a toda la población afectada dentro de las zonas siniestradas en sus necesidades inmediatas de protección a la vida, salud, alimentación, vestido y albergue;

- VI. Apoyar a las familias de bajos ingresos en la mitigación de los daños, a su patrimonio familiar y productivo;
- VII. Apoyar la consolidación, reestructuración o, en su caso, reconstrucción de los bienes inmuebles considerados como monumentos arqueológicos, artísticos e históricos por ley o por declaratoria;
- VIII. Apoyar de manera transitoria a dependencias y entidades federales para la reparación de infraestructura asegurada, en tanto éstas reciban los pagos correspondientes de los seguros, de conformidad con la legislación federal aplicable; y,
- IX. Adquirir equipo y bienes muebles especializados que permitan responder con mayor eficacia y prontitud en la eventualidad de un desastre.

Para lograr los objetivos anteriores, la Federación con cargo a los recursos del FONDEN, debe aportar dentro de las disponibilidades presupuestarias, recursos adicionales, con objeto de que la atención a un desastre natural no afecte en lo posible a sus programas y proyectos en curso.

Así también, deberá promover la cooperación y la corresponsabilidad en la atención de desastres naturales entre el Gobierno Federal y las entidades federativas. Lo anterior, mediante el establecimiento de mecanismos de participación de gasto ante la eventualidad de un desastre, conforme a lo señalado en las Reglas de Operación.

En consecuencia, en forma solidaria, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público con cargo al FONDEN también aportará recursos para apoyar a las entidades federativas a fin de atender los daños a la infraestructura pública estatal y municipal, y del Distrito Federal y a la población damnificada, dentro de los parámetros señalados en las Reglas de Operación.

## Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN)

Los recursos ejercidos por el total de las entidades federativas que se enfrentaron a algún tipo de desastre natural ascendió a 9,210.9 millones de pesos del 2000, destinando en su mayor parte, con un 67 % para la atención por fenómenos de lluvias, torrenciales y huracanes; un 30 % por sequías y heladas; un 1 % para incendios y un 0.21 % para la atención por los efectos de sismos.



Desde su origen hasta el ejercicio fiscal 2006, el Fondo para la Prevención de Desastres Naturales ha otorgado recursos a las entidades y dependencias federales, de acuerdo con lo siguiente:

### Recursos autorizados por declaratoria de desastre

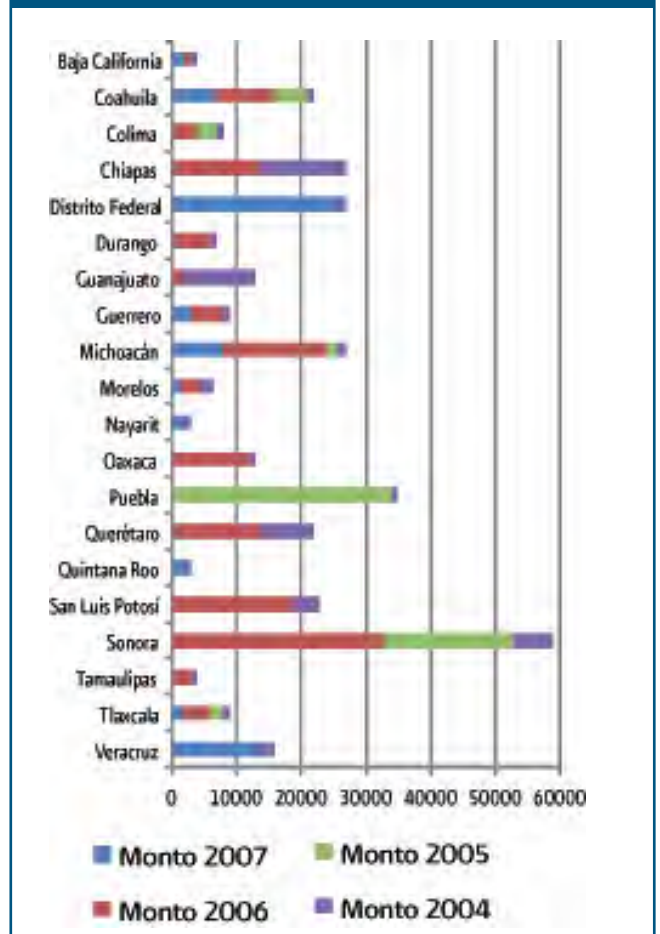
Los recursos que fueron autorizados para reconstrucción al amparo de una Declaratoria de Desastre a una entidad federativa, ejercidos del 2004 a la fecha se muestran en las gráficas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10; y en las tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

Con base en los expedientes que se encuentran bajo resguardo de la Secretaría Técnica del Consejo de Evaluación del FOPREDEN, durante el periodo 2004-2007 se han aprobado un total de 46 proyectos, de los cuales 36 han sido solicitudes de entidades federativas y 10 de dependencias federales.

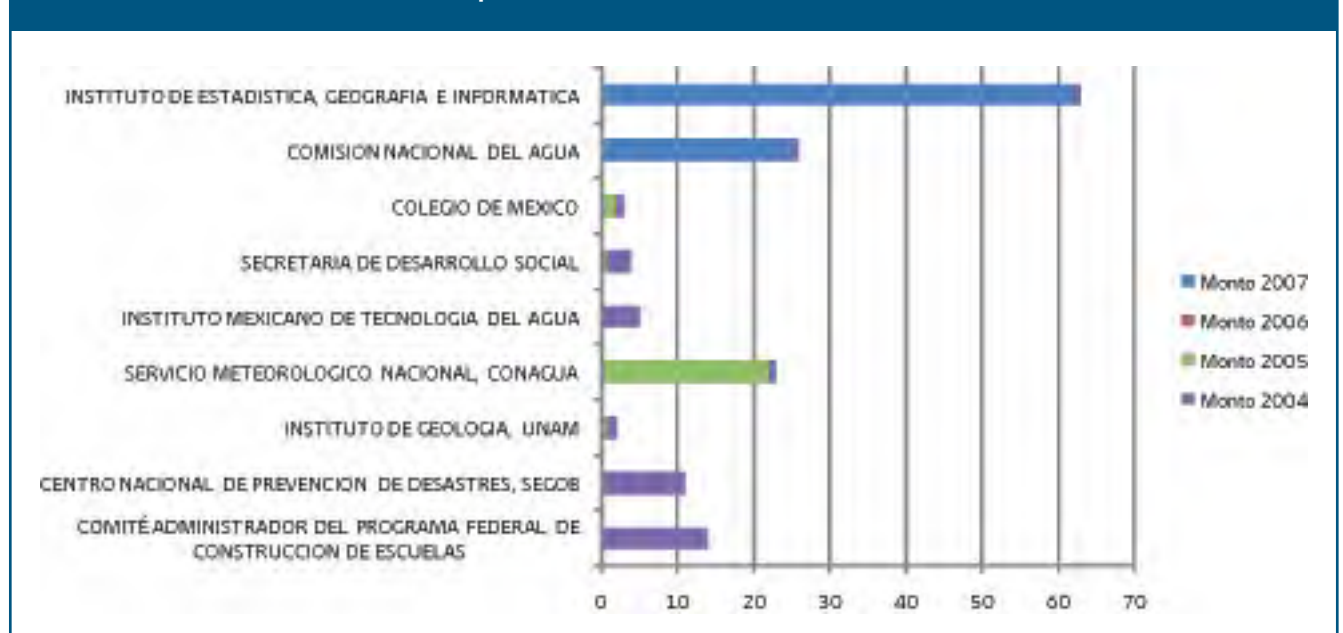
### Entidades federativas

Por lo que respecta a proyectos aprobados a entidades federativas durante el periodo que se reporta, se observa que cinco estados han obtenido acceso a los recursos del FOPREDEN en tres ejercicios fiscales, siete estados en dos, seis en una ocasión y catorce entidades federativas no han tenido acceso a los recursos de este Fondo.

**Gráfica 1. Acumulado 2004-2007 de entidades federativas**



**Gráfica 2. Acumulado 2004-2007 de dependencias federales**



## Entidades y dependencias federales

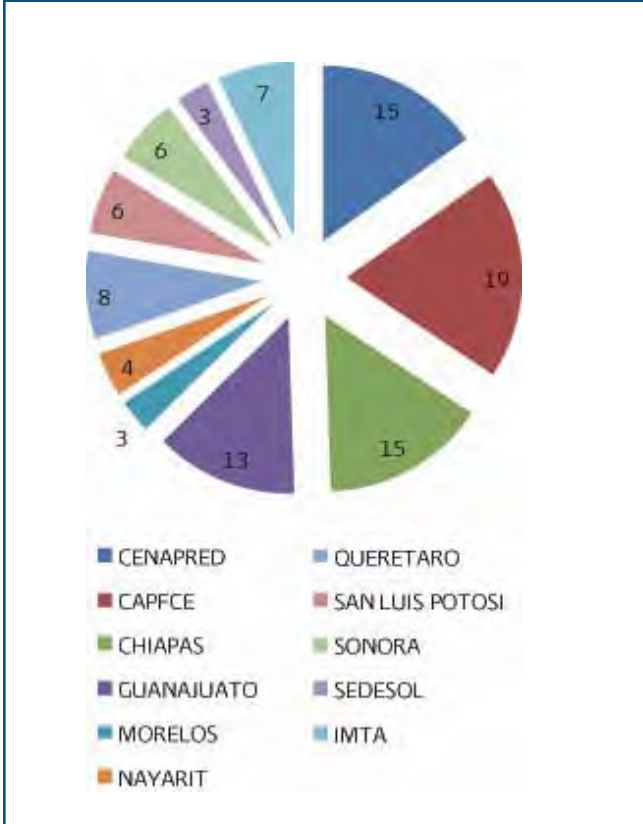
Respecto de las solicitudes aprobadas a dependencias federales, destacan el Instituto Nacional de Estadística, Geografía en Informática (INEGI), la Comisión Nacional del Agua y el Servicio Meteorológico Nacional (ver gráfica 2).

TOTALES	\$76 323 837.10	100.00%
Participación FOPREDEN	\$46 721 715.57	61.22%
Participación estatal	\$12 839 695.53	16.82%
Participación federal	\$16 762 426.00	21.96%

Cifras en pesos

Solicitante	Nombre del proyecto	Monto de aportaciones		
		Total	FOPREDEN 70% ó 50%	Coparticipación 30% ó 50%
CENAPRED	Instrumentación, equipamiento y asesorías para el atlas nacional de riesgos.	11 452 000.00	5 726 000.00	5 726 000.00
Chiapas	Estudio de aprovechamiento hidráulico integral y de control de inundaciones de la cuenca del río sabinal.	12 565 147.30	8 795 603.11	3 769 544.19
Comité Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas	Determinación de la calidad y seguridad de la infraestructura física educativa, como medida de prevención y reducción de la vulnerabilidad, sobre las acciones inducidas por fenómenos naturales.	14 524 952.00	7 262 476.00	7 262 476.00
Guanajuato	Estudio de mitigación y disminución de riesgos de inundaciones del río Turbio, tramo León a la desembocadura al río Lerma.	10 000 000.00	7 000 000.00	3 000 000.00
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Implementación a tiempo real de un sistema de alertamiento temprano para identificar y simular numéricamente perturbaciones atmosféricas estimando sus impactos en lluvia.	5 415 000.00	2 707 500.00	2 707 500.00
Morelos	Estudio de aprovechamiento integral y de control de inundaciones del río Yautepec.	2 008 820.00	1 406 174.00	602 646.00
Nayarit	Obra de reparación en palmar de Cuatla.	2 826 192.00	1 978 334.40	847 857.60
Querétaro	Atlas de riesgo.	6 479 155.20	4 535 408.64	1 943 746.56
San Luis Potosí	Actualización del atlas de riesgo.	4 685 670.60	3 279 969.42	1 405 701.18
Secretaría de Desarrollo Social	Identificación de riesgos y previsión de desastres con participación comunitaria en Yucatán fase 1.	2 132 900.00	1 066 450.00	1 066 450.00
Sonora	Atlas de riesgo.	4 234 000.00	2 963 800.00	1 270 200.00
<b>Total general</b>		<b>76 323 837.10</b>	<b>46 721 715.57</b>	<b>29 602 121.53</b>

**Gráfica 3. Solicitudes autorizadas 2004**

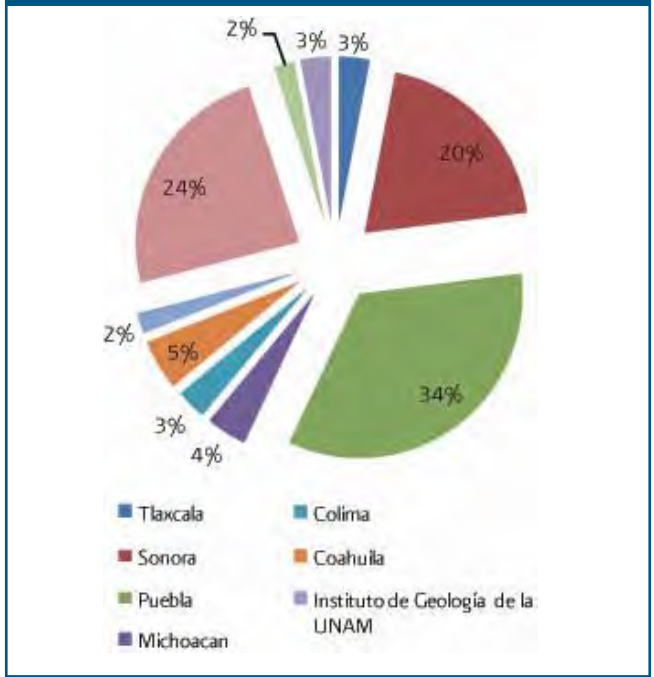


**Tabla 3. Ejercicio fiscal 2005**

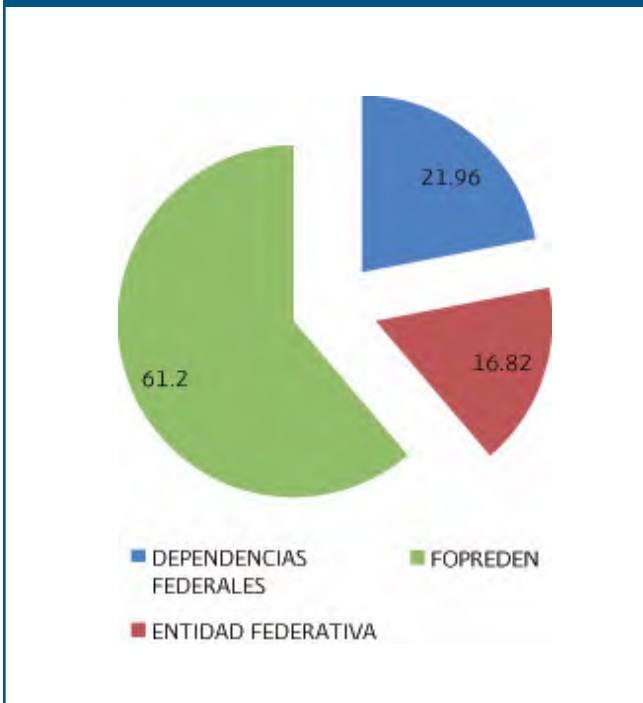
TOTALES	\$101 178 071.62	100.00%
Participación FOPREDEN	\$64 797 262.53	64.04%
Participación estatal	\$21 312 340.09	21.06%
Participación federal	\$15 068 469.00	14.89%

Cifras en pesos

**Gráfica 5. Solicitudes autorizadas 2005**



**Gráfica 4. Aportaciones 2004**



**Gráfica 6. Aportaciones 2005**



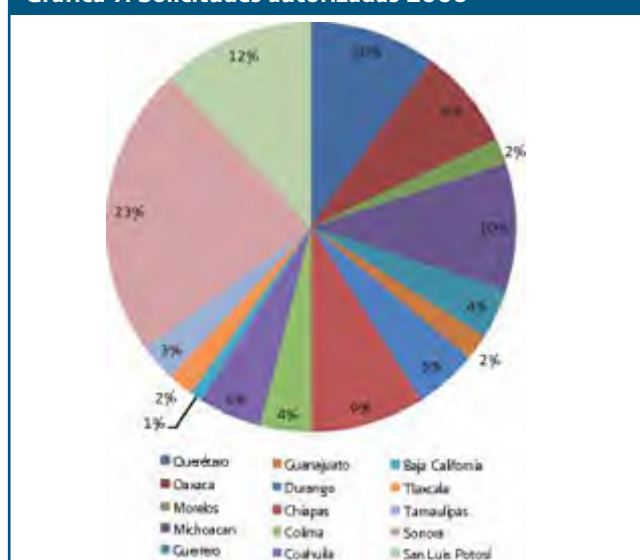
**Tabla 4. Resumen 2005. Ejercicio fiscal 2005**

Solicitante	Nombre del proyecto	Monto de aportaciones		
		Total	FOPREDEN 70% ó 50%	Coparticipación 30% ó 50%
Coahuila	Equipamiento para las unidades municipales de Protección Civil.	5 504 982.15	3 853 487.50	1 651 494.65
Colima	Infraestructura de sistemas para prevenir y eficientar la respuesta ante emergencias para el sistema de Protección Civil de Colima.	3 399 158.61	2 379 411.03	1 019 747.58
El Colegio de México	Riesgo y sustentabilidad urbana: cultura de prevención y gestión de riesgo sísmico en la Ciudad de México.	2 630 000.00	1 315 000.00	1 315 000.00
Instituto de Geología, UNAM	Caracterización geomecánica y modelación numérica de deslizamientos críticos de la Sierra de Guadalupe del Estado de México.	1 595 800.00	797 900.00	797 900.00
Michoacán	Atlas de riesgos.	3 650 000.00	2 555 000.00	1 095 000.00
Puebla	Deslizamiento de taludes y laderas de la sierra norte y nororiental del Estado de Puebla.	35 486 992.86	24 840 895.00	10 646 097.86
Secretaría de Desarrollo Social	Identificación de riesgo y prevención de desastres con participación comunitaria.	2 010 796.00	1 005 398.00	1 005 398.00
Servicio Meteorológico Nacional	Adquisición de refacciones para radares meteorológicos y complementación de la red nacional de estaciones meteorológicas automáticas.	23 900 342.00	11 950 171.00	11 950 171.00
Sonora	Obra de defensa contra inundaciones en la ciudad de Caborca.	20 000 000.00	14 000 000.00	6 000 000.00
Tlaxcala	Atlas de riesgos.	3 000 000.00	2 100 000.00	900 000.00
<b>Total general</b>		<b>101 178 071.62</b>	<b>64 797 262.53</b>	<b>36 380 809.09</b>

**Tabla 5. Ejercicio fiscal 2006**

<b>TOTALES</b>	<b>\$152 770 696.48</b>	<b>100.00%</b>
Participación FOPREDEN	\$106 939 487.54	70.00%
Participación estatal	\$45 831 208.94	30.00%
Participación federal	\$15 068 469.00	0.00%
Cifras en pesos		

**Gráfica 7. Solicitudes autorizadas 2006**

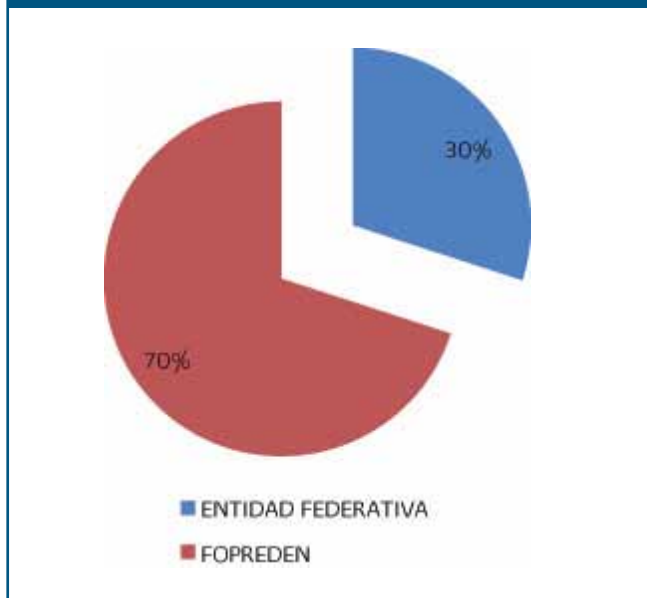


**Tabla 6. Resumen 2006. Ejercicio fiscal 2006**

Solicitante	Nombre del proyecto	Monto de aportaciones		
		Total	FOPREDEN 70% o 50%	Coparticipación 30% o 50%
Baja California	Microzonación sísmica en la zona urbana, Mexicali, B.C.	1 300 000.00	910 000.00	390 000.00
Chiapas	Sistema de monitoreo climático del Estado de Chiapas.	14 200 145.53	9 940 101.87	4 260 043.66
Coahuila	Atlas estatal de riesgo digital con tecnología de simulación.	8 251 418.84	5 775 993.19	2 475 425.65
Colima	Módulos para prevención y atención de emergencias en las unidades municipales y equipamiento para el sistema de Protección Civil de Colima.	5 424 200.00	3 796 940.00	1 627 260.00
Durango	Acciones para dar atención a la población afectada en sus viviendas.	7 031 000.00	4 921 700.00	2 109 300.00
Guanajuato	Sistematización del atlas del estado de Guanajuato.	2 555 000.00	1 788 500.00	766 500.00
Guerrero	Emisor alterno del sistema de alerta sísmica en las ciudades de Acapulco y Chilpancingo	5 899 000.00	4 129 300.00	1 769 700.00
Michoacán	Sistema de gestión de riesgo sísmico.	15 979 000.00	11 185 300.00	4 793 700.00
Morelos	Atlas de riesgos y peligros para el Estado de Morelos.	3 000 000.00	2 100 000.00	900 000.00
Oaxaca	Ampliación, afinación y calibración del sistema de alerta sísmica del estado de Oaxaca, y emisión de avisos a la población.	12 234 575.75	8 564 203.03	3 670 372.73
Querétaro	Centro de capacitación teórico-práctico.	15 111 189.30	10 577 832.51	4 533 356.79
San Luis Potosí	Centro de capacitación, investigación, desarrollo, difusión y operaciones regionales de Protección Civil.	19 000 000.00	13 300 000.00	5 700 000.00
Sonora	Encauzamiento del río Sonora, en el tramo que cruza la ciudad de Hermosillo, Sonora, comprendido del kilómetro 7+883 al 8+583, aguas a bajo de la cortina de la presa Abelardo I. Rodríguez.	34 550 793.49	24 185 555.44	10 365 238.05
Tamaulipas	Revisión y actualización del atlas de riesgos del Estado de Tamaulipas.	4 646 500.00	3 252 550.00	1 393 950.00
Tlaxcala	Integración de sistemas e infraestructura para mejorar la respuesta ante emergencias y desastres.	3 587 873.93	2 511 511.75	1 076 362.18
<b>Total general</b>		<b>152 770 696.84</b>	<b>106 939 487.79</b>	<b>45 831 209.05</b>



**Gráfica 8. Aportaciones 2006**



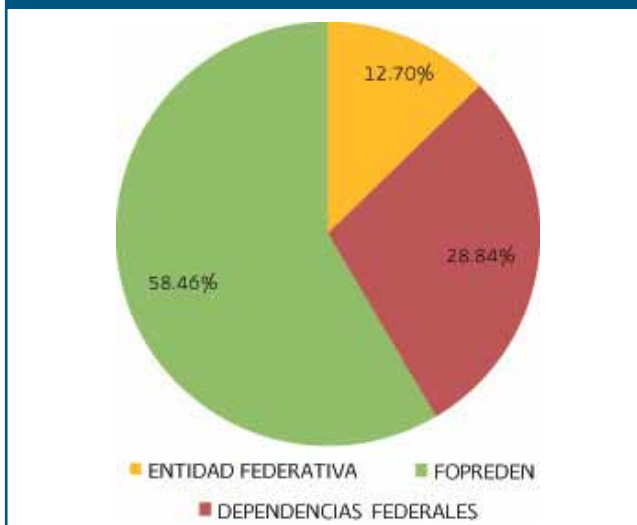
El Consejo de Evaluación del FOPREDEN, acordó la procedencia de 10 proyectos, por lo que se solicitó, a la Unidad de Política y Control Presupuestario de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, se incluyera en el Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación 2007, los siguientes proyectos:

**Tabla 7. Ejercicio fiscal 2007**

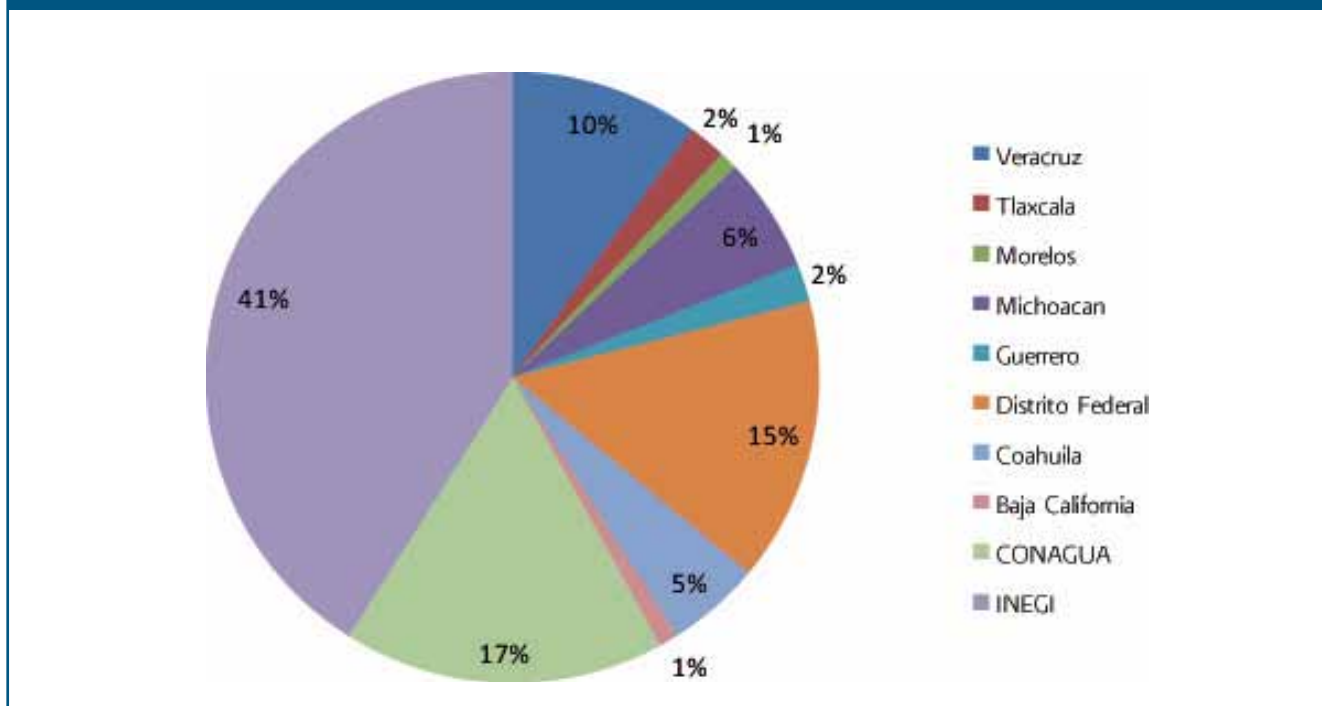
TOTALES	\$156 321 852.08	100.00%
Participación FOPREDEN	\$91 392 005.34	58.46%
Participación estatal	\$19 846 618.95	12.70%
Participación federal	\$45 083 227.79	28.84%

Cifras en pesos

**Gráfica 10. Aportaciones 2007**



**Gráfica 9. Solicitudes autorizadas 2007**



**Tabla 8. Resumen 2007. Ejercicio fiscal 2007**

Solicitante	Nombre del proyecto	Monto de aportaciones		
		Total	FOPREDEN 70% ó 50%	Coparticipación 30% ó 50%
Baja California	Microzonificación de las áreas urbanas de Baja California.	1 840 000.00	1 288 000.00	552 000.00
Coahuila	Sistema de monitoreo y alerta oportuna para zonas habitacionales.	8 156 601.96	5 709 621.37	2 446 980.59
CONAGUA	Adquisición de un radar meteorológico <i>doppler</i> para el monitoreo de eventos extremos en el Estado de Chiapas.	26 168 250.00	13 084 125.00	13 084 125.00
Gobierno del D.F.	Atlas de riesgos del Distrito Federal.	23 212 344.00	16 248 640.80	6 963 703.20
Guerrero	Identificación geotécnica de laderas potencialmente inestables en las zonas urbanas de los municipios de Acapulco, Chilpancingo, Tlapa, Taxco y Zihuatanejo.	3 714 800.00	2 600 360.00	1 114 440.00
INEGI	Prevención de riesgos hidrometeorológicos en el territorio nacional, mediante tecnología <i>lidar</i> .	63 998 205.57	31 999 102.79	31 999 102.79
Michoacán	Sistema de Información de Riesgos (SIR) fase II.	8 764 000.00	6 134 800.00	2 629 200.00
Morelos	Señalización y balización de las cinco rutas de evacuación de la zona de mayor riesgo del volcán Popocatepetl en el Estado de Morelos.	1 825 748.76	1 278 024.13	547 724.63
Tlaxcala	Creación de un centro de capacitación teórico-práctico especializado en prevención de desastres y Protección Civil.	3 317 901.79	2 322 531.25	995 370.54
Veracruz	El equipamiento y asesoría para la elaboración del atlas de peligros geológicos e hidrometeorológicos del estado de Veracruz.	15 324 000.00	10 726 800.00	4 597 200.00
<b>Total general</b>		<b>156 321 852.08</b>	<b>91 392 005.34</b>	<b>64 929 846.74</b>

### Proyectos en cartera del ejercicio fiscal 2008

De conformidad con lo dispuesto por el artículo 21 del acuerdo que establece las Reglas del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto de 2006, se publican los Proyectos en Cartera del ejercicio fiscal 2008, (ver tabla 9) los cuales estarán resguardados por la Coordinación General de Protección Civil y que son difundidos para efectos de transparencia.

**Tabla 9. Proyectos en cartera del ejercicio fiscal 2008**

Solicitante	Nombre del proyecto	Monto FOPREDEN	Total	Estatus
CAPFCE	“Determinación de la calidad y seguridad en la infraestructura física-educativa, como medida de prevención y reducción de la vulnerabilidad, sobre las acciones inducidas por fenómenos naturales (segunda etapa)”.	\$50 187 545.1	\$100 375 090.20	La entidad no cuenta con recursos para realizar la aportación correspondiente al 50%.
Baja California Sur	“Proyecto ejecutivo de la rectificación y/o encauzamiento de los arroyos de la Huerta, su afluente Agua Escondida y Arroyo el Piojillo en la Paz, Municipio de la Paz, Baja California Sur.”	\$81 809 250.32	\$116 870 357.60	Falta la presentación de un estudio que garantice que el área en donde se pretenden reubicar los planteles no sea zona de riesgo.
Tamaulipas	“Construcción y equipamiento de dos centros de emergencia regionales en el Mante y San Fernando, Tamaulipas”.	\$18 007 607.44	\$25 725 153.48	Condicionada que el estado defina la ubicación donde se construirán los centros de emergencia regionales y remita a la Coordinación General de Protección Civil los estudios geotécnicos correspondientes.

# Anexo 16.

## Zonas Federales

### Introducción

Se denomina **ribera** o **zona federal** a las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional, medidas horizontalmente *a partir del nivel de aguas máximas ordinarias*. La amplitud de la ribera o zona federal será de cinco metros en los cauces con una anchura no mayor de cinco metros. El nivel de aguas máximas ordinarias se calculará a partir de la creciente máxima ordinaria que será determinada por CONAGUA o por el organismo de cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, de acuerdo con lo dispuesto en los reglamentos de la Ley de Agua Nacionales LAN.

En los ríos, estas fajas se delimitarán a partir de cien metros río arriba, contados desde la desembocadura de éstos en el mar. En los cauces con anchura no mayor de cinco metros, el nivel de aguas máximas ordinarias se calculará a partir de la media de los gastos máximos anuales producidos durante diez años consecutivos. Estas fajas se delimitarán en los ríos a partir de cien metros río arriba, contados desde la desembocadura de éstos en el mar. En los orígenes de cualquier corriente, se considera como cauce propiamente definido, el escurrimiento que se concentre hacia una depresión topográfica y forme una cárcava o canal, como resultado de la acción del agua fluyendo sobre el terreno. La magnitud de la cárcava o cauce incipiente deberá ser de cuando menos de 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad (*Art. 3 Fracc. XLVII de la Ley de Aguas Nacionales*).

En adición a lo anterior, es necesario tener en consideración los siguientes conceptos: **vaso de lago, laguna o estero**: depósitos naturales de aguas nacionales delimitados por la cota de la creciente máxima ordinaria; (*Art. 3 Fracc. LXI de la Ley de Aguas Nacionales*); y, **zona de protección**: faja de terreno inmediata a las presas, estructuras hidráulicas y otra infraestructura hidráulica e instalaciones conexas, cuando dichas obras sean de propiedad nacional, en la extensión que en cada caso fije la CONAGUA o el organismo de cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, para

su protección y adecuada operación, conservación y vigilancia, de acuerdo con lo dispuesto en los reglamentos de esta Ley; (*Art. 3 Fracc. LXII de la Ley de Aguas Nacionales*).

Para llevar a cabo la “Delimitación de cauce y zona federal”: Se requieren hacer Trabajos y estudios topográficos, batimétricos, fotogramétricos, hidrológicos e hidráulicos, necesarios para la determinación de los límites del cauce y la zona federal.

### Marco de referencia

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, declara a las aguas nacionales como propiedad de la Nación, incluye ríos, lagos, lagunas y manantiales; y, por tanto también los terrenos ocupados por estos cuerpos de agua y las zonas federales contiguas.

Los ríos y arroyos colindan con terrenos de propiedad privada, ejidal o comunal, en medida que los asentamientos humanos se aproximan a los cauces nacionales resalta la evidente necesidad de deslindar los terrenos federales de los de otros regímenes de propiedad estableciendo para ello la delimitación del cauce y su zona federal.

Caso especial lo constituyen las invasiones de cauce y zona federal en las áreas marginadas de las poblaciones, problema que requiere la participación de las entidades municipales y estatales.

Otros problemas que se llegan a presentar son que los Notarios Públicos, no solicitan a la CONAGUA, el deslinde de los terrenos federales de los cauces y cuerpos de agua, para la escrituración de terrenos privados, por lo cual los particulares, en la mayoría de los casos, presentan escrituras, en la que ostentan la propiedad de cauces, vasos y lagunas de propiedad federal.

Por lo tanto es necesario que existan la delimitación y demarcación de cauces y zonas federales, para evitar asentamientos humanos e invasiones de ciertas obras, lo cual ocasiona modificaciones a los escurrimientos en los cauces; y por otra parte no es posible tener un control de limpieza y operatividad de los ríos y cuerpos de agua, sobre todo en los lugares de alto riesgo, para tener en cierta forma un control de avenidas y protección contra inundaciones.

Al tomar en cuenta lo anterior, la Ley de Aguas Nacionales, menciona que, CONAGUA, a través de los organismos de cuenca, en coordinación con los gobiernos

estatales y municipales, o en concertación con personas físicas o morales, deberá construir y operar, según sea el caso, las obras para el control de avenidas y protección de zonas inundables, así como caminos y obras complementarias que hagan posible el mejor aprovechamiento de las tierras y la protección a centros de población, industriales y, en general, a las vidas de las personas y de sus bienes, conforme a las disposiciones del Título Octavo.

En los términos del reglamento y con el apoyo de los organismos de cuenca, CONAGUA, clasificará las zonas en atención a sus riesgos de posible inundación, emitirá las normas y recomendaciones necesarias, establecerá las medidas de operación, control y seguimiento y aplicará los fondos de contingencia que se integren al efecto.

Los organismos de cuenca apoyarán a CONAGUA, de conformidad con las leyes en la materia, para promover, en su caso, en coordinación con las autoridades competentes, el establecimiento de seguros contra daños por inundaciones en zonas de alto riesgo, de acuerdo con la clasificación a que se refiere el párrafo anterior. (Art. 83, Ley de Aguas Nacionales).

CONAGUA determinará la operación de la infraestructura hidráulica para el control de avenidas y tomará las medidas necesarias para dar seguimiento a fenómenos climatológicos extremos, promoviendo o realizando las acciones preventivas que se requieran; asimismo, realizará las acciones necesarias que al efecto acuerde su Consejo Técnico para atender las zonas de emergencia hidráulica o afectadas por fenómenos climatológicos extremos, en coordinación con las autoridades competentes.

Para el cumplimiento eficaz y oportuno de lo dispuesto en el presente Artículo, CONAGUA actuará en lo conducente a través de los organismos de cuenca. (Art. 84, Ley de Aguas Nacionales).

Por eso es importante resaltar que la delimitación de las zonas federales, no es necesariamente la delimitación de la zona de riesgo, sino que es la franja o porción que permite tener acceso a las autoridades correspondientes, llámese CONAGUA a través de los organismos de cuenca, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, a las corrientes o cuerpos de agua para tener un control preventivo para realizar este tipo de trabajos (limpieza y operatividad de la infraestructura hidráulica para el control de avenidas tomando las medidas necesarias para dar seguimiento a fenómenos climatológicos extremos, promoviendo o realizando las acciones preventivas

que se requieran), por lo tanto es de suma importancia las zonas federales.

Para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, así como para la construcción de obras hidráulicas y otros de índole diversa relacionados con el agua y los bienes nacionales a los que se refiere el Artículo 113 de la LAN se requieren permisos otorgados por el Ejecutivo Federal a través de CONAGUA o del organismo de cuenca correspondiente, conforme a sus competencias. Estos permisos tendrán carácter provisional para el caso de la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales en tanto se expide el título respectivo; (Art. 3 Fracc. XL de la Ley de Aguas Nacionales).

## Diagnóstico

Referente a las zonas federales, para efectos de las fracciones VIII del artículo 3o., y 4o., del artículo 113 de la LAN, en lo que respecta a la delimitación, demarcación y administración de las riberas o zonas federales contiguas a los cauces de las corrientes y a los vasos o depósitos de propiedad nacional, se estará a lo siguiente:

- I. El nivel de aguas máximas ordinarias a que se refiere la fracción VIII, del artículo 3o., de la "Ley", se entiende como el que resulta de la corriente ocasionada por la creciente máxima ordinaria dentro de un cauce sin que en éste se produzca desbordamiento. *La creciente máxima ordinaria estará asociada a un periodo de retorno de cinco años.*
  - Para el caso de corrientes que presenten flujo nulo durante uno o más años de su periodo de registro, CONAGUA determinará el periodo de retorno equivalente que tome en cuenta esta situación. Para el caso de estas corrientes y de las cuencas sin registro hidrométrico, la creciente máxima ordinaria se obtendrá a partir de tormentas máximas ordinarias, a las que se asociará el periodo de retorno correspondiente y el cálculo del escurrimiento respectivo se hará con las normas oficiales mexicanas que expida CONAGUA.
  - Para determinar la creciente máxima ordinaria de un cauce ubicado aguas abajo de una presa, se deberá considerar la ocurrencia simultánea de la creciente máxima ordinaria que genera la cuenca propia de dicho cauce y los caudales máximos posibles que descarga la presa, después de regular la



- creciente máxima ordinaria que genera su cuenca alimentadora, para el mismo periodo de retorno de cinco años.
- En los ríos en llanuras de inundación, para efectos de lo dispuesto en este artículo, se tomará el punto más alto de la margen o ribera.
  - En el caso de barrancas profundas, CONAGUA determinará la ribera o zona federal de corrientes o depósitos de agua, únicamente cuando la inclinación de dicha faja sea de treinta grados o menor, en forma continua;
- II. CONAGUA, podrá poner a disposición de quien lo solicite la información de la creciente máxima ordinaria determinada para un cauce o vaso específicos;
  - III. En los ríos que desemboquen en el mar, la delimitación de la zona federal se establecerá a partir de cien metros río arriba, contados desde su desembocadura;
  - IV. La delimitación y demarcación del cauce y zona federal se llevará a cabo por CONAGUA o por tercero autorizado, y a su costa, observándose el siguiente procedimiento:
    - a) Una vez realizados los trabajos de delimitación, se publicará aviso de demarcación en el Diario Oficial de la Federación y en el periódico de mayor circulación de la entidad federativa correspondiente, notificándose simultáneamente en forma personal, a los propietarios colindantes;
    - b) Se levantará acta circunstanciada, en la que se asienten los trabajos realizados, los documentos que exhibieron los propietarios colindantes y lo que hayan manifestado, así como la fijación de las mojoneras provisionales;
    - c) Los trabajos técnicos de delimitación y los planos correspondientes estarán a disposición de los interesados, para que en un término que no exceda de 10 días hábiles, a partir de la fecha de levantamiento del acta circunstanciada, expongan lo que a su derecho convenga, vencido dicho plazo CONAGUA resolverá en un término no mayor a 15 días hábiles sobre la demarcación correspondiente.
  - V. En los vasos de lagos y lagunas que no estén conectados con el mar, el nivel de aguas máximas ordinarias se determinará considerando la corriente ocasionada por la creciente máxima ordinaria de sus fuentes alimentadoras, conforme al presente artículo;
  - VI. En las regiones deltaicas, cuando por efecto del desbordamiento de las corrientes se unan las aguas de inundación con las contenidas en lagos o lagunas de formación natural, los vasos de estos últimos se delimitarán por la curva de nivel correspondiente a la intersección de la superficie natural del terreno con las aguas en reposo, una vez que las corrientes retornan a sus cauces, definidos conforme a la fracción III, del artículo 3o., de la "Ley", y
  - VII. Los lagos, lagunas y esteros, cuando estén comunicados con el mar, la zona federal marítimo-terrestre se precisará conforme a la Ley General de Bienes Nacionales y el vaso, los cauces y las aguas se regularán por la "Ley" y este "Reglamento". (*Art. 4, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales*).
- Para efectos de la fracción XIII, del artículo 3o., de la "Ley", CONAGUA para fijar la extensión de las zonas de protección de las presas, estructuras hidráulicas e instalaciones conexas, se sujetará a las condiciones de seguridad y del necesario mantenimiento y operación eficiente de la infraestructura hidráulica, así como sus ampliaciones futuras, según se desprenda de los diseños respectivos, y en todo caso la anchura de la franja alrededor de la infraestructura no excederá de 50 metros (*Art. 5, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales*).

### El proyecto de la zona federal, debe contener:

- Planta, con el trazo del río y los límites del cauce y la zona federal; cuadros de construcción de la zona federal de ambas márgenes.
- Plano con cada una de las secciones transversales, utilizadas en el tránsito hidráulico, que contengan los niveles de agua para el gasto definido para la delimitación; a partir de estos niveles (puntos) y hacia cada uno de los lados se medirán, en forma horizontal, 10 ó 5 metros, dependiendo si el ancho del cauce es mayor a 5 metros o menor.

Algunas consideraciones para la elaboración del proyecto:

- El espaciamiento de las secciones transversales, deberá ser tal, que con ellas se defina completamente los márgenes del río, sobre todo en las curvas.
- En caso de incorporación de afluentes, se deberá cortar el trazo de los polígonos de la zona federal, dejando el ancho del cauce que se incorpora.
- Se deberá verificar que en la declaratoria de propiedad nacional, aparezca el nombre del río, en caso de tratarse de un ramal de la declaración de otra corriente; y coincidir el nombre, en esta publicación, con el del proyecto.

Una vez concluido el proyecto, integrar la memoria técnica, de todos los estudios; dentro de los cuales, en el topográfico, se deberá especificar: metodología y equipo utilizado; precisión; apoyos en campo; y toda la información necesaria para posteriormente, realizar el trazo en campo de los límites del cauce y la zona federal.

La memoria técnica, deberá estar firmada por el responsable de su elaboración y aprobada por el subgerente técnico; así mismo, los planos deberán ser firmados, tanto por el personal de la Gerencia Regional, como la Estatal.

Adicionalmente, se deberá integrar, la siguiente información:

- Copia del Diario Oficial (legible), en el que se publicó la Declaratoria de propiedad nacional de las aguas de la corriente que se realiza el proyecto de delimitación.
- Nombre y dirección del Gobernador, y el o los presidentes municipales en donde se ubica el tramo por delimitar.

### **Metodología para la emisión de permisos de construcción de obras en cauces y zonas federales**

De acuerdo con los Artículos 52 Fracción II párrafos d) y n), 54 fracción I, párrafos f), i) y l), fracción III, párrafo d) y g) del Reglamento Interior de CONAGUA Nacional del Agua, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) del 30 de noviembre de 2006, la Subdirección General Técnica a través de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR), formuló el: "Procedimiento para normar la metodología para la expedición de los permisos de construcción o modificación de obras en zonas federales"

Mismo que contiene las normas a las que deberán apearse los organismos de cuenca y direcciones Locales que integran CONAGUA, para la expedición del permiso de construcción o modificación de obras en cauces y zonas federales.

La Subdirección General Técnica por conducto de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, es responsable de la expedición de este documento, así como de asesorar a la Unidades Técnicas de Aguas Superficiales de los Organismos de Cuenca y direcciones Locales en su aplicación. La elaboración, actualización y validación de los documentos generados por la aplicación del presente, corre a cargo de los titulares de dichas unidades.

Por lo que el objetivo es normar la metodología, que permita el otorgamiento de permisos de construcción o modificación de obras en zonas federales.

## **Marco jurídico**

### **Leyes**

- Ley de Aguas Nacionales O.O.F.1-XII-1992

### **Reglamentos**

- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales O.O.F.12-1-1994
- Reglamento Interior de la CONAGUA D.O.F.30-11-2006

### **Decretos**

- Decreto por el que se crea la CONAGUA D.O.F.16-1-1989
- Decreto por el que la CONAGUA, para el cumplimiento de sus funciones contará con un
- Consejo Técnico, un Director General y demás unidades administrativas previstas en los ordenamientos aplicables D.O.F.16-IV-1991

### **Acuerdos**

- Acuerdo por el que se adscriben orgánicamente las unidades administrativas de la SEMARNAT, anteriormente SEMARNAP O.O.F.17-X-1996

### **Planes y programas**

- Programa Nacional Hidráulico 2001-2006, CONAGUA
- Programa para la Innovación y Calidad Gubernamental, Presidencia de la República.

## Normas de operación

El permiso para construcción de obras en zonas federales, es facultad y responsabilidad de la Subdirección General Técnica, con la rúbrica de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) y la revisión desde el punto de vista legal de la Subdirección General Jurídica.

La autorización de proyectos se hace desde el punto de vista hidráulico e hidrológico y no es competencia de CONAGUA de acuerdo al Artículo 97 de la LAN y al Artículo 127 de su Reglamento, la parte estructural y construcción de la obra, que es responsabilidad exclusiva de quien diseña y construya la obra.

A petición del solicitante de acuerdo a los Artículos antes señalados, la CONAGUA puede prestar la asesoría y el apoyo técnico que se le requieran para el diseño y construcción de las obras que controlen corrientes de propiedad nacional, a través del establecimiento de acuerdos y convenios de colaboración entre las partes implicadas.

El solicitante deberá dirigir su petición de permiso de cruce, ocupación, uso, explotación o modificación de un sitio o tramo de cauce, al organismo de cuenca o dirección local de la CONAGUA el Estado en que se localiza la corriente en cuestión, acompañada con los siguientes documentos:

- Solicitud
- Plano de localización y datos generales como: estudio hidrológico, proyecto hidráulico y programa de ejecución.

Además de la siguiente documentación legal:

- Personas Morales Privadas
  - Acta Constitutiva, Poder Notarial del Representante legal, Identificación con foto y firma
- Personas Físicas Privadas
  - Fotocopia del Registro Federal de Contribuyentes, Identificación con foto y firma
- Gobiernos Federal, Estatal y Municipal
  - Reglamento Interior, Ley Orgánica, Acuerdo Delegatorio, Identificación con foto y firma y
  - Nombramiento oficial del servidor público que hace la solicitud del permiso
- Organismos Públicos Descentralizados
  - Ley Orgánica, Poder Notarial del Representante Legal, Identificación con foto y firma, y
  - Nombramiento Oficial del servidor público que hace la solicitud del permiso.

La dirección local, revisará que contenga todos los estudios y documentación y habrá de remitirlos al organismo de cuenca correspondiente para su validación, y ésta enviarlos a la GASIR, para su dictamen técnico y autorización.

La GASIR, revisará y estará de acuerdo con los estudios del proyecto y en su caso dependiendo del tipo de obra lo planteará ante la Gerencia del Consultivo Técnico, para su dictamen final.

Si la Gerencia del Consultivo Técnico emite el dictamen favorable, la GASIR elaborará el permiso para construcción de obras en zonas federales y lo enviará a la Subdirección General Jurídica para su revisión en el aspecto legal.

El Subdirector General Técnico autoriza el permiso y envía a los organismos de cuenca y direcciones locales para su entrega al solicitante, a través de la Ventanilla Única.

El solicitante deberá efectuar los trámites para la ocupación de la zona federal, los cuales deberán realizarse en la Subdirección General de Administración del Agua.

La GASIR deberá llevar el inventario de los permisos otorgados; así mismo, los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales llevarán otro correspondiente a los permisos otorgados en el ámbito de su competencia.

## Inicio

### Direcciones Locales

- 1. La Dirección Local (DL) recibe del solicitante, solicitud y documentación completa, la revisa y valida.
- 2. La DL revisa estudios hidrológicos, hidráulicos, topográficos y el proyecto, según la metodología vigente en la CONAGUA.
  - 2.1. En caso de que la información técnica y/o documentación legal, este incompleta, informa al usuario para su complementación y corrección.
  - 2.2. En caso de que el expediente este completo, lo remite al Organismo de Cuenca (OC).

### Organismos de Cuenca

- 3. El Organismo de Cuenca revisa y conjunta el expediente y lo valida; una vez integrado, lo envía a la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR).

### Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos

- 4. La GASIR, revisa el expediente técnico y dictamina si se aprueba el proyecto.
  - 4.1. En caso de que no se apruebe, lo remite al Organismo de Cuenca, para que se informe al usuario.
  - 4.2. Si el proyecto es satisfactorio, evalúa si es necesario contar con la aprobación de la Gerencia del Consultivo Técnico.
    - 4.2a. Si es necesario solicita el dictamen de la Gerencia del Consultivo Técnico.
    - 4.2b. Elabora el permiso para construcción de obras en zonas federales.

### Organismos de Cuenca

- 5. De no ser procedente, recibe de la GASIR dictamen negativo de la procedencia de la solicitud y lo remite a la Dirección Local.

### Dirección Local

- 6. Recibe del OC, dictamen negativo en cuanto a la procedencia del proyecto.
- 7. Informa al solicitante del resultado del dictamen, para que en su caso, realice las correcciones.

### Gerencia del Consultivo Técnico

- 8. Recibe y considera el proyecto.
  - 8.1. En caso de no aprobar el proyecto, informa a la GASIR.
  - 8.2. En caso de aprobar el proyecto, lo informa a la GASIR.

### Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos

- 9. La GASIR, recibe resultado negativo de la Gerencia del Consultivo Técnico e informa al OC.

### Organismos de Cuenca

- 10. Recibe de la GASIR dictamen negativo de la Gerencia del Consultivo Técnico, de la procedencia de la solicitud y lo remite a la Dirección Local.

### Dirección Local

- 11. Recibe del OC, dictamen negativo de la Gerencia del Consultivo Técnico, en cuanto a la procedencia del proyecto.

- 12. Informa al solicitante del resultado del dictamen, para que en su caso, realice las correcciones.

### Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos

- 13.- La GASIR elabora el permiso para construcción o modificación de obras en zonas federales y lo envía a la Subdirección General Jurídica.

### Subdirección General Jurídica

- 14. La SGJ recibe documentación del proyecto, lo revisa en el aspecto legal.
  - 14a. Si se aprueba notifica a la GASIR para que se envíe a firma de la SGT.
  - 14b. En caso de que no se apruebe se continúa con la actividad 4.1.

### Subdirección General Técnica

- 15. Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos
- 16. La GASIR elabora oficio y remite el original del permiso al OC.

### Organismo de Cuenca

- 17. El OC recibe debidamente autorizado el permiso de construcción o modificación de obras en zonas federales y lo remite a la DL, para su entrega al solicitante.

### Dirección Local

- 18. Recibe del OC, el permiso autorizado.
- 19. Entrega al solicitante el permiso autorizado.

### FIN

### El Dictamen técnico para la expedición de los permisos de construcción o modificación de obras en zonas federales se entregará de la siguiente forma:

De conformidad con lo establecido en los artículos: 20, 21, 21BIS, 22, 118 y 118BIS de la Ley de Aguas Nacionales; 174, 175, 177, 178, 180 y 181 del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, y 232 de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, se fundamenta el dictamen técnico.

## Antecedentes

- **Nombre del solicitante.** Pueden ser: personas Morales Privadas; personas físicas privadas; gobiernos federal, estatal o municipal; y organismos públicos descentralizados.
- **Entidad federativa.** Se colocará la entidad federativa donde se ubica el terreno federal solicitado.
- **Municipio o delegación.** Se ubicará el municipio o delegación donde se ubica el terreno federal solicitado.
- **Localidad.** Se pondrá la localidad, ejido, ranchería colonia, etc, donde se ubica el terreno federal solicitado.
- **Nombre y tipo de la fuente o bien nacional.** Se especificará el nombre de la corriente, lago, laguna, vaso de presa, etc., de propiedad nacional, cuya zona federal se solicita; y, se marcará con una X, el tipo de corriente.
- **Cuenca.** Se registrará el nombre de cómo se conoce la cuenca.
- **Región hidrológica.** Se pondrá el número y nombre de la región hidrológica.
- **Régimen en el aprovechamiento solicitado.** Se debe establecerse la corriente es permanente o semipermanente; o en su caso, son cuerpos de agua.
- **Documentación presentada por el solicitante.** Con que tipo de formato realizó su solicitud, ya sea Solicitud Única de Servicios, escrito libre, oficio, etc.; y desglosar el contenido del expediente técnico.

## Metodología para la emisión de concesión de zona federal

1. Explotación, uso o aprovechamiento objeto de la concesión  
Se especificará el uso que se le va a dar al terreno solicitado, como por ejemplo: jardinería, agrícola, servicios, para ubicar obras de control, protección o cruzamiento, etc.
2. Al realizar la revisión y análisis del expediente técnico entregado por el solicitante y compararlo con la información en archivos o la realización de los trabajos de delimitación de la zona federal solicitada, se establecerán las coordenadas del centro de gravedad geométrico del terreno solicitado, en Latitud y longitud; y en caso de disponer de ellas, las de los vértices del polígono formado con el terreno solicitado.
3. Se determinará el área o superficie solicitada, así como sus colindancias con los cuatro puntos cardinales.
4. Condiciones específicas

- **Modifica el régimen hidráulico, el uso solicitado:** Una vez realizado el análisis técnico, se determinará si con el uso de los terrenos se altera o no el régimen hidráulico de la corriente.
- **Ocupa actualmente el terreno federal solicitado:** Si se realizó visita de inspección verificar si ya tiene en uso el terreno o no.
- **Se realizó visita de inspección:** Especificar si se realizó visita de inspección técnica.
- **Tiene proyecto autorizado para construcción de obras:** Consignar si para el uso del terreno solicitado, requiere o no de permiso de construcción de obras, y en su caso si fue autorizado y aprobado por la CONAGUA, especificando No de folio, fecha de expedición y vigencia del mismo; así como, la Unidad de la CONAGUA que lo otorgó.
- **Observaciones y comentarios:** Se hará una descripción de la corriente desde el punto de vista geográfico e hidráulico; así mismo, si la corriente cuenta con declaratoria de propiedad nacional, señalándose la fecha de publicación en el DOF; finalmente, se consignará la información precisa respecto al tipo de uso que se le dará al terreno, o en su caso los datos principales de la obra que se autorizó.
- **Croquis de localización del terreno federal solicitado:** En un plano preferentemente del INEGI, se ubicará el terreno solicitado.

## Dictamen

Con base en las atribuciones conferidas a los organismos de cuenca gerencias regionales, estatales u oficinas centrales, cada una emitirá el dictamen respectivo, o si es el caso, las tres unidades, en el cual se expondrán los razonamientos técnicos en los que se basaron para dar el dictamen ya sea positivo o negativo.

## Dictamen final

Se pondrá solamente: **procedente** ó no **procedente**.

- En todas las concesiones, de zonas federales se debe aclarar mediante una cláusula que las zonas federales concesionada está sujetas a inundaciones por el paso de avenidas extraordinarias o superiores a un período de retorno de 5 o 10 años; y que no es motivo de reclamaciones a la CONAGUA de que eso ocurra, como lo establece el Artículo 178, que dice, que la



CONAGUA no asume la responsabilidad por daños causados por avenidas ordinarias o extraordinarias.

- En el título, CONAGUA incluirá, cuando proceda, la obligación de garantizar el tránsito en el lugar ocupado, la servidumbre que proceda y el acceso a la corriente para que las aguas puedan ser utilizadas por medios manuales o para abrevadero de animales.
- Para la explotación, uso o aprovechamiento de la zona federal, no comprenderá el cauce, el vaso, ni los materiales de construcción; como lo establece el Artículo 175 del Reglamento y los oficio No 1185 del 2 de diciembre de 2003 de la SGT y el BOO.00.02.01.01.10881 del 11 de noviembre de 2003.

### Estrategias y consideraciones

Con la delimitación de cauces y zona federal los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales estarán en posibilidades de dictaminar las solicitudes de los usuarios, sobre la concesión de zonas federales, permisos para extracción de materiales y, respecto a la ocupación de la zona federal en solicitudes de permisos de construcción o modificación de obras en zonas federales.

Dentro del Programa Nacional Hidráulico 2006-2012 y con objeto de lograr una mayor efectividad en la aplicación de los recursos destinados a la administración hidráulica la CONAGUA promueve la descentralización de funciones hacia los gobiernos municipales, mediante el establecimiento de Convenios de Coordinación para transferirles la custodia, vigilancia y conservación de las zonas federales con lo que se consolida la descentralización de funciones y evitar los asentamientos humanos en zonas urbanas

- En años anteriores se transferían recursos a los Organismos de Cuencas y Direcciones Locales, del orden de \$20,000 a \$30,000.
- En 2007, se transfirieron a los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales \$10,000,000.0 para contratar estudios para la delimitación de zonas federales.
- En 2008, se transfirieron a los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales \$10,000,000.0 para contratar estudios para la delimitación de zonas federales.

## Anexo 17. Conceptos básicos en ingeniería de presas

- **Presa.** Es una obra hidráulica formada por una cortina y obras accesorias para almacenar o derivar agua de escurrimientos de un río o arroyo, la cual al formar un embalse, modifica el régimen hidráulico e hidrológico de los escurrimientos. Incluye también los almacenamientos de fluidos con sustancias tóxicas, de aguas contaminadas, de aguas residuales de procesos industriales, mineros o de descargas urbanas.

### Componentes de una presa

Las presas en general, se componen de una cortina, una obra de desvío (temporal), una obra de toma y una obra de excedencias. Hay algunas presas que requieren de diques para cerrar el embalse. La cortina se ubica en un estrechamiento denominado boquilla que al impedir el escurrimiento del río forma un almacenamiento denominado embalse o vaso.

- **Cortina.** La cortina de una presa es una barrera artificial que se construye en el cauce de un escurrimiento para el almacenamiento de agua. Es el componente más importante de las presas, ya que es la obra de retención que forma el almacenamiento. Un dique es la cortina complementaria que se construye en un sitio diferente al del cauce para cerrar un puerto topográfico y formar el embalse de una presa.

Existen diferentes tipos de cortinas que se pueden clasificar, en general, de la siguiente manera:

#### Por los materiales que la constituyen:

- De terracerías homogéneas con respaldo y sin respaldo.
- De suelos graduados.
- De enrocamiento con cara de concreto o asfalto.
- De mampostería o concreto.

#### Por su comportamiento estructural:

- Deformables de terracerías y enrocamiento.
- Relativamente rígidas de gravedad, arco, arco-gravedad, machones o contrafuertes.

**Por su magnitud:**

- grandes,
- pequeñas, y
- bordos.

Según su tamaño, las presas y bordos deben clasificarse como se indica en la **figura 1** mediante la combinación de la altura máxima de la cortina respecto a su nivel de desplante, la capacidad de almacenamiento medida al nivel de aguas máximo extraordinario (NAME), y el índice de potencial de daño medido ( $E_p$ ) en Joules conforme a la formulación siguiente:

- $E_p = HVg_w$
- dónde:
  - H = Altura de la presa desde el cauce del río en metros
  - V = Volumen de almacenamiento en  $m^3$
  - $g_w$  = Peso volumétrico del agua en Kilo-Newton/ $m^3$

La clasificación incluye embalses que retienen o almacenan fluidos, sustancias tóxicas, o aguas residuales de descargas urbanas o de procesos industriales o mineros.

**Por su funcionamiento hidrológico-hidráulico:**

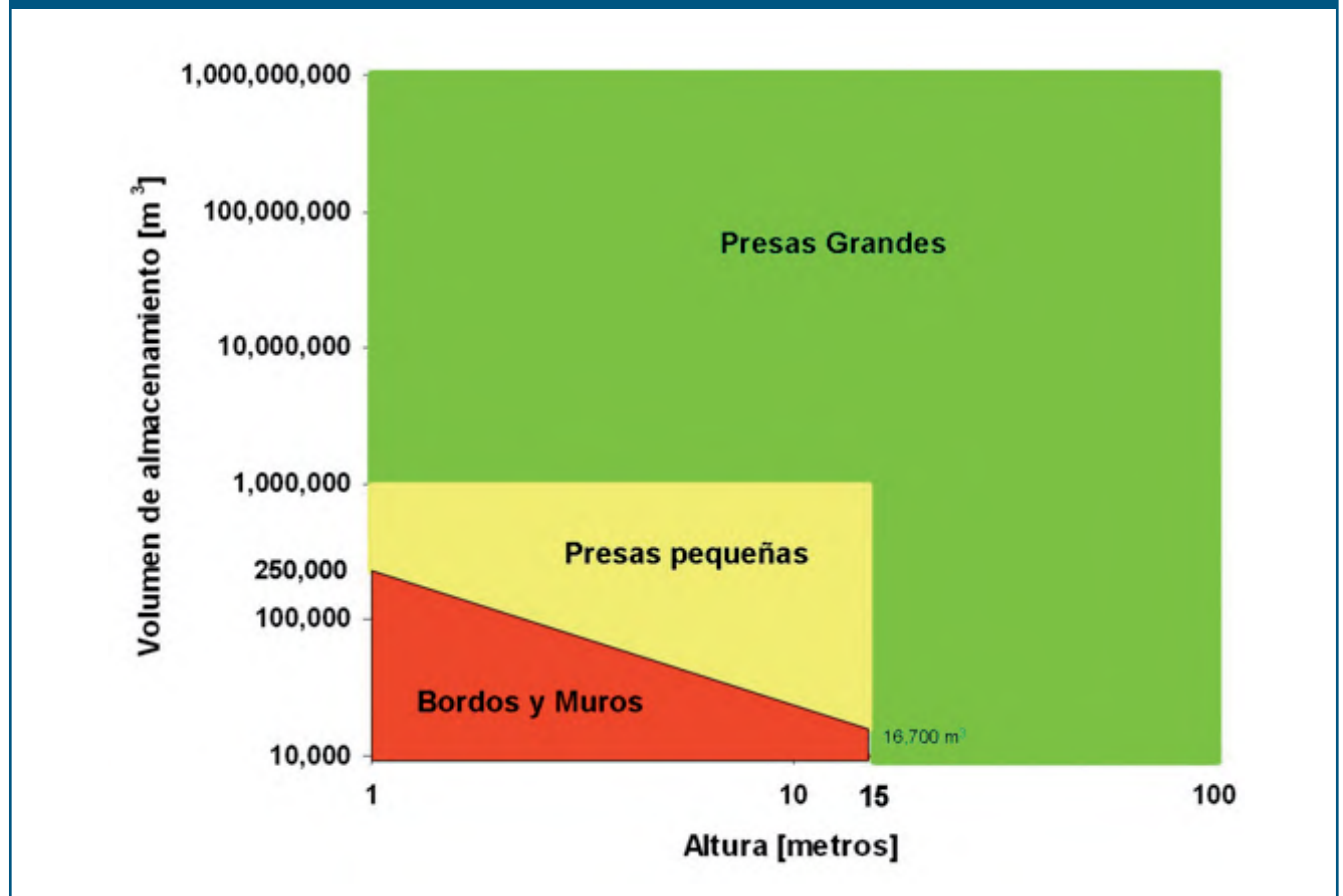
- Las presas se clasifican en presas de almacenamiento, derivadoras y para control de avenidas.

**Presas de jales para retención, regulación y reutilización del agua residual de los procesos mineros:**

- Incluyen el controlar y regular de avenidas de cuenca propia para su descarga controlada sin que se mezcle con el agua del proceso minero y sin el desbordamiento de los residuos mineros que constituyen la cortina de la presa de jales.

**Presas permeables de disipación de energía hidráulica (*check dams*):**

**Figura 1. Tamaño de presas**



- Que se construyen sin el propósito de almacenar agua para retención de azolves.

#### Obra de desvío:

- Es una obra temporal en el cauce o ladera del sitio de una presa que desvía el río y que permite realizar los trabajos del desplante y tratamiento de cimentación de la cortina en seco

#### Vertedor de excedencias:

- Es una obra hidráulica complementaria cuya función es dar salida a los volúmenes excedentes en un embalse y conservar **niveles de seguridad estructural y funcional** de la presa, se clasifican en:
  - **Vertedores de descarga libre**, es una escotadura de sección y planta recta o curva, que descarga automáticamente sin restricciones en función de sus tirantes y área hidráulica (largo y alto).
  - **Vertedores controlados**. Es una escotadura de sección y planta recta o curva que descarga a través de la instalación y apertura de compuertas. Se utiliza cuando se tiene la necesidad de limitar el caudal de salida a la capacidad del cauce aguas abajo con base en reglas de operación previas y variables.
- **Dimensionamiento de los vertedores**. Las características geométricas de los vertedores se determinan transitando por el vaso la avenida de diseño seleccionada (usualmente  $T_r = 10000$  años) para varias longitudes de cresta y sus cargas hidrostáticas correspondientes, de tal manera que el gasto de salida transite por el cauce aguas abajo sin provocar desbordamientos o inundaciones.
- **Obra de toma**. Las obras de toma son estructuras mediante las cuales se extrae el agua de las presas en forma controlada. Según el objetivo de la presa, hay tomas para riego agrícola y pecuario, suministro de agua potable, generación de energía hidroeléctrica, gasto ecológico. La capacidad de las obras de toma, se diseña para satisfacer la máxima demanda según sea el caso. En los casos de presas de control de avenidas, las obras de toma son conductos a presión con descarga libre, sin mecanismos de control que se diseñan para el control de avenidas y operan automáticamente en función del tirante hidráulico y las dimensiones del conducto.

- **Obra de control**. En el caso de una presa de control de avenidas, la obra de control es un componente que funciona automáticamente para controlar las descargas de las avenidas ordinarias que ingresan al vaso, mediante un conducto con capacidad de conducción limitada a la del cauce aguas abajo. Las avenidas extraordinarias se manejan a través de la obra de excedencias, y en este caso excederán la capacidad del cauce evitando el desbordamiento de la cortina.
- **Usos de las presas**. Hay presas para diferentes usos como son: abastecimiento de agua para uso humano e industrial, riego agrícola y pecuario, generación de energía y control de avenidas, recreación, y usos múltiples.

#### Tipos de presas:

- **Presas de almacenamiento**. A diferencia de las presas de control de avenidas una presa de almacenamiento se diseña para captar el volumen necesario para satisfacer las demandas y con fines de seguridad estructural y funcional, se dispone de un volumen adicional de almacenamiento para regular avenidas de un periodo de retorno ( $T_r$ ) hasta de 10,000 años, dotándola de un bordo libre con el propósito de evitar el desbordamiento de la cortina y consecuentemente su posible falla estructural.
- **Presas de control de avenidas**. Las presas de control de avenidas se diseñan con el propósito de que siempre permanezcan vacías excepto durante los periodos relativamente cortos en que ocurren las **avenidas ordinarias** (horas) durante los cuales los ingresos de agua al embalse (vacío) se regulan en el mismo y se desfoga a través de la obra de control. La capacidad máxima de descarga de la obra de control no debe exceder la capacidad máxima del cauce aguas abajo.
 

La función fundamental de las presas de control de avenidas e inundaciones es buscar reducir el pico de la avenida ordinaria del río, que puede causar daños a la población, mediante la regulación de volúmenes de agua en el embalse y la descarga simultánea de los caudales reducidos en la obra de control.

Con lo anterior, se atenúa el riesgo de daños a la población, sus bienes, y la infraestructura en general por inundaciones aguas abajo de la presa, ante avenidas ordinarias en comparación con aquellos que ocurrirían sin la existencia de la presa. Para avenidas extraordinarias, que no es posible regularlas en el

embalse, deben desalojarse por la obra de excedencias, para evitar el desbordamiento de la cortina y la eventual falla de la presa. En ese caso, ya no se pueden evitar inundaciones aguas abajo.

En consideración de lo anterior, las presas de almacenamiento y las de control de inundaciones tienen en común la necesidad de una regulación ante una avenida extraordinaria para preservar la estabilidad de la cortina, establecida por la diferencia de niveles entre el NAME y el NAMO.

- **Alerta.** Aviso oportuno de una situación de emergencia.
- **Amenaza.** Evento fuente de daño en la cortina de una presa y sus obras accesorias con el potencial de crear situaciones adversas y/o la falla de la misma, esto incluye también inestabilidad de laderas en el embalse y aguas abajo.
- **Azolve.** Sedimentos que se depositan al fondo del embalse, provenientes del arrastre o transporte en suspensión de suelos, fragmentos de roca, troncos y ramas debido a los escurrimientos al mismo u otras causas.
- **Comportamiento.** Desempeño de obras civiles y electromecánicas ante eventos ordinarios y extraordinarios relacionados con cargas estáticas o dinámicas (sismos naturales o inducidos y vibraciones), avenidas ordinarias y extraordinarias, o hundimiento regional en el entorno de la presa.
- **Curva de áreas y capacidades.** Representación gráfica de los volúmenes de almacenamiento de agua respecto a las elevaciones topográficas del embalse y la superficie inundada.
- **Desbordamiento.** Descarga de agua por encima de la corona de la cortina y/o diques.
- **Embalse.** Recinto topográfico de un cauce formado por la cortina de una presa o de un bordo donde se almacenan fluidos, también conocido como vaso.
- **Emergencia.** Cualquier condición anómala o inesperada que requiere atención inmediata, ya que puede poner en peligro de falla a una presa y como consecuencia en riesgo de inundaciones a la población, sus bienes, y a la infraestructura aguas abajo.
- **Inspección de presa.** Revisión visual detallada de la cortina, sus obras accesorias y de su ámbito geográfico.
- **Evaluación del comportamiento.** Examinar y juzgar el desempeño estructural y funcional del embalse, del cauce o de las obras civiles en el mismo.
- **Evento extraordinario.** Escenario inusual impuesto a una presa, que le demanda un comportamiento poco frecuente.
- **Falla de la presa.** Deformación inadecuada de alguno de los elementos que conforman la cortina o su colapso total, que evita el almacenamiento de agua o produce descargas no controladas de agua almacenada con daños a la población, la infraestructura y propiedades aguas abajo o en su entorno geográfico.
- **Incidente.** Anomalía estructural o mal funcionamiento desarrollado inesperadamente que impone un peligro de falla a la presa, sin que ocurra el colapso, y que requiere una revisión inmediata de la evolución de su comportamiento.
- **Modificación de una presa.** Conjunto de obras que cambian los rasgos estructurales y funcionales del diseño original de una presa.
- **Metros cuartos.** Índice de potencial de daño expresado con el producto de la altura máxima de la cortina por el volumen de almacenamiento al NAME.
- **Obra accesorio.** Estructura hidráulica que forma parte de una presa, el concepto incluye obra de desvío, vertedor(es), obra(s) de toma, obra(s) de desfogue, dique(s) y túnele(s), galería(s), lumbrera(s), y la obra electromecánica.
- **Obra de toma.** Orificio o conducto con obra electromecánica o manual para extraer agua del embalse en forma controlada, constituida por las siguientes estructuras: acceso en el embalse, conducción a través de la cortina, el subsuelo o laderas, y una estructura de salida con válvulas para su control.
- **Obra de desfogue.** Orificio o conducto para descargas de emergencia hacia aguas abajo de la cortina, constituida por las siguientes estructuras: acceso en el embalse, conducción a través de la cortina, el subsuelo o laderas, y una estructura de descarga aguas abajo de la cortina.
- **Operación del embalse.** Maniobras en un vertedor controlado o en la obra de toma para manejar los niveles del embalse y proporcionar los servicios de agua de la presa.
- **Plan de acción ante emergencias.** Documento que contiene una serie de procedimientos de emergencia aplicables a los diferentes escenarios de incidentes y falla de la presa, para atenuar daños aguas abajo y en el entorno geográfico de la misma. Cada plan debe

adaptarse a las condiciones específicas de cada presa y su entorno geográfico.

- **Primer almacenamiento.** Almacenamiento parcial del embalse, después del cierre de la presa y antes de alcanzar el NAMO. Para fines de inspección de la presa los niveles de agua se consideran significativos desde un 50% de la altura entre el nivel de desplante de la cortina y el NAMO.
- **Primer llenado.** Primer almacenamiento que alcanza el NAMO
- **Puesta fuera de servicio.** Adecuaciones requeridas para dejar de utilizar una presa, cuando ya no cumple sus objetivos o representa un peligro. Con lo anterior se atenúan riesgos a la población y el entorno geográfico de la presa, mediante un proyecto y la construcción de obras civiles.
- **Vida económica.** Periodo durante el cual se considera a una presa económicamente rentable a partir de su puesta en operación.
- **Vida útil.** Edad de la presa desde el inicio de su operación hasta que deje de cumplir con su objetivo.
- **Vigilancia.** Observación detallada y permanente, para control y manejo de la presa y sus instalaciones.
- **Vaciado rápido.** Velocidad de descenso de los niveles del embalse mayor a 0.5 m/día, que imponen las condiciones de operación de la presa por eventos extraordinarios.
- **Zona de inundación.** Área potencial aguas abajo de la presa, en la cual pueden ocurrir pérdidas (de vidas humanas, bienes e infraestructura) por cambios en el tirante de agua mayores de 30 cm.

## Anexo 18.

# Anomalías a detectar durante la inspección de una presa

**En la cortina, terreno de cimentación y laderas de empotramiento, se pueden detectar las siguientes anomalías:**

- sumideros
- oquedades
- movimientos verticales (hundimientos-levantamientos)
- movimientos horizontales (desalineamientos)
- encharcamientos
- surcos de erosión (cárcavas)
- patrones
- extensión y abertura de agrietamientos (longitudinales, transversales, diagonales, de secado o contracción, semi-circulares)
- movimiento relativo en las juntas con otros elementos estructurales o juntas de construcción
- deterioro de juntas estructurales o de construcción
- eflorescencia de sales
- lixiviados o azolve
- tipo y contrastes de vegetación existentes (árboles y arbustos)
- patrones de filtración de agua, destacando características de: zonas húmedas, escurrimiento libre o a presión, caudal, turbiedad, y temperatura de la filtración, disgregación de materiales constitutivos.

**En el vertedor de excedencias:**

- Si se trata de vertedores controlados, el funcionamiento de la obra mecánica-eléctrica de las compuertas o cualquier otro mecanismo.
- En el cimacio se debe verificar la existencia de sobre-elevaciones o preparaciones con agujas, diques inflables, estructuras o bordos fusibles, o cualquier otro tipo de estructuras de sobre-elevación. En los canales y zonas de descarga se debe verificar el deterioro de los materiales y estructuras de protección contra la



erosión regresiva o la socavación, así como descartar la obstrucción u obturación de zonas de aireación, así como descartar la obstrucción, obturación o taponamiento de sistemas de alivio de presión o subdrenaje.

- Si la estructura vertedora se aloja en una excavación a cielo abierto, se debe descartar la existencia de caídos o inestabilidades en los taludes de la excavación y revisar las estructuras constitutivas

#### **En la obra de toma:**

- En el embalse, en la zona aledaña a la estructura de acceso, se deben descartar obstrucciones, basura, vegetación, e indicios de infiltración hacia la cortina (sumideros, vórtices o remolinos de agua). Si la conducción es a presión y se aloja en el cuerpo de la cortina o en el subsuelo de cimentación, en la zona aledaña a la estructura de descarga aguas abajo de la cortina o en la superficie del terreno de cimentación, se debe detectar la existencia de humedad y zonas de filtración.
- En los canales y zonas de descarga se debe verificar el deterioro de los materiales de revestimiento y de protección contra erosión regresiva o socavación, así como detectar la obstrucción de la descarga y obturación o taponamiento en sistemas de alivio de presión o subdrenaje.

#### **En túneles, cavernas, galerías y lumbreras:**

- En las paredes, techo y piso se debe indicar el tipo y estado del revestimiento y detectar la presencia de: patrones de infiltración de agua destacando si se trata de zonas húmedas, escurrimiento libre o a presión, caudal, turbiedad y temperatura de las filtraciones, deformaciones (hundimientos o levantamientos del piso, desplomes, colapsos o caídos de roca o deformaciones del revestimiento en el techo o en las paredes), sumideros en el piso, encharcamientos en el piso, patrones, extensión y abertura de agrietamientos (longitudinal, transversal, o diagonal, secado o contracción) destacando la ubicación y las características de las grietas con escarpe o sin escarpe, movimiento relativo entre juntas estructurales o de construcción del revestimiento, relleno por azolves, carbonatos o por la eflorescencia de sales o azolves de juntas estructurales o de construcción, donde corresponda.

- Relleno por azolves, carbonatos o por la eflorescencia de sales o azolves sistemas de alivio de presión o drenaje.

#### **En los sistemas de desagüe, drenes y de alivio de subpresión:**

- Se deben verificar los patrones de filtración de agua destacando las características del escurrimiento: libre o a presión, caudal, turbiedad y temperatura de la filtración, y detectar la obturación de los sistemas por el ataque físico-químico de corrosiones o la eflorescencia de sales o azolves.

#### **En la obra mecánica-eléctrica:**

- Se deberá verificar el funcionamiento adecuado de los sistemas mecánicos y eléctricos de las compuertas del vertedor controlado y de la obra de toma, mediante la revisión y prueba de los equipos instalados.
- En particular se deben revisar y probar los equipos siguientes: compuertas, marcos, sellos y ventilación, malacates y mecanismos elevadores, grúas, viga de enganche y marcos, tuberías a presión. En tuberías a presión se debe describir el tipo y verificar alineamientos, patrones de agrietamiento desplazamiento relativo entre juntas de construcción, obstrucciones, deterioro de materiales de construcción, e indicios de humedad o fugas a presión, válvulas de emergencia y de servicio, actuadores y pistones, subestación eléctrica, tableros, redes, sistemas de tierra e iluminación.

#### **En la instrumentación:**

- En los instrumentos de medición de filtración, de deformación, de esfuerzos, de temperatura, e instrumentos sísmicos instalados en la cortina, en sus obras accesorias, en laderas de empotramiento, y en los túneles y galerías de inspección de drenaje, se debe verificar el funcionamiento de los instrumentos y su correcta ubicación respecto a las fichas de instalación, así como detectar el deterioro y el ataque físico-químico de la instalación, destacando problemas de funcionamiento por corrosión o por obturación por la eflorescencia de sales o azolves.

#### **En los accesos, vigilancia y comunicación en la presa:**

- El responsable de la presa debe mantener caminos de acceso a la corona de la cortina, al vertedor, y a la obra

de toma, que sean transitables para los responsables de inspección y para la maquinaria y equipo de construcción y mantenimiento, en cualquier temporada del año. En las galerías, túneles, y lumbreras de inspección y drenaje, debe mantener iluminación interior. En presas grandes debe mantenerse vigilancia permanente de la presa y sus instalaciones, con equipos de radio-comunicación.

#### **En el entorno geográfico de la presa:**

- Se deben verificar las modificaciones que ocurren en la cuenca y en el cauce aguas abajo de la presa debido a las actividades humanas, como el crecimiento de poblaciones hacia el cauce y la construcción de nueva infraestructura; en particular se debe verificar la capacidad hidráulica de los cauces y la eventual zona de inundación aguas abajo de la presa. En el embalse se deben detectar evidencias de deslizamientos.

## Anexo 19. Caracterización de cauces y sistemas fluviales

Para organizar acciones preventivas y correctivas es necesario efectuar una caracterización de sitios que permita establecer criterios para valorar riesgos atribuidos a inundaciones, deslizamientos de grandes masas de suelo y/o roca, o los riesgos inducidos por las fallas estructurales o funcionales de las obras civiles que el hombre construye en los cauces.

La caracterización de cauces es un trabajo interdisciplinario entre especialistas de ingeniería civil y geología.

La zonificación de cuencas mediante la agrupación de rasgos semejantes conforme a criterios establecidos contribuye a la planeación en las acciones de regulación del uso del suelo y de protección civil, el uso de diferentes criterios de zonificación y caracterización de sitios con riesgo de inundación permite planear el uso del suelo y proponer obras de protección.

### **Reconocimiento, inspección y levantamiento de datos de cauces**

Recopilación de información de eventos históricos mediante la interpretación de cartografía y fotointerpretación de información histórica y reciente de fotografías aéreas, de satélite, así como de las obtenidas en sobrevuelos de helicóptero recientes para contrastar y delimitar eventos históricos y recientes de inundación, y la ocurrencia de deslizamientos o avalanchas al cauce.

### **Inspecciones y reconocimiento de campo**

- Efectuar sobrevuelos en helicóptero de cauces y sus cuencas.
- Llevar a cabo recorridos a pie e inspecciones en estaciones estratégicas de los cauces para ubicar la huella de las avenidas.
- Apreciar y determinar los contrastes de la granulometría de los materiales descubiertos por la erosión o los depositados durante una avenida extraordinaria; tanto en el fondo como en las paredes de los cauces.

- Detectar embalse formados por el deslizamiento o avalanchas.

### Desarrollar la investigación de los aspectos siguientes:

- **Fisiográfica regional geomorfología de cauces.** Establecer la forma en planta, trayectoria, y secciones transversales de los cauces de sitios estratégicos y una zona aledaña, incluyendo el curso o trayectoria de cauces en valles en zonas de montaña (alta, media), zonas de transición sistemas fluviales en planicies de inundación, curso o trayectoria, recta con poca o nula curvatura o meándrica.

### Valles

- **Cauces encajonados.** Son los que se desarrollan en topografía abrupta con pendientes fuertes donde el agua no puede desbordarse entre las laderas o márgenes del mismo. Generalmente contienen grandes bloques de roca, boleos y gravas.

Presas permeables de retención de azolves (*check dams*) para reducir de energía del escurrimiento de agua, disminuir los efectos de erosión y favorecer la retención de azolves en cuencas altas.

- **Cauces parcialmente encajonados.** Cauce de estiaje flanqueado por terrazas aluviales inundables dentro en un valle; este cauce presenta la formación incipiente de meandros de poca amplitud. Las terrazas están formadas por suelos granulares de gravas, arenas y limos en los extremos de las mismas. Una crecida extraordinaria puede vaciar o rellenar estos recintos y son la fuente de sedimentos que se transportan aguas abajo.

### Lineamientos generales:

- **Planicies de inundación.** Es un terreno casi plano de baja pendiente contiguo a los cauces, que se inunda periódicamente, formado por diferentes **sistemas fluviales** y el depósito de sedimentos provenientes de uno o varios ríos. Se caracteriza porque sus cauces divagan en **forma trenzada o de meandros**. Presentan una gran variedad de depósito de sedimentos granulares y finos lenticulares, así como turbas producto de las divagaciones sucesivas de los cauces que cruzan

la planicie. En estas planicies de inundación ocurre la formación de deltas y conos de deyección.

### Planicies de inundación

- **Conos de deyección.** Es un depósito de sedimentos granulares y finos en forma de abanico originado por un cambio de régimen de escurrimiento rápido a uno de menor velocidad y pendiente que causa un esparcimiento de sedimentos a la salida de un cañón o barranca hacia una planicie (ápice topográfico). Este tipo de depósitos se encuentra generalmente en zonas áridas con escurrimientos torrenciales que se depositan en una llanura seca. Una de las características fundamentales es que el cauce es divagante debido a la acumulación de sedimentos que reduce la pendiente, por lo que con los escurrimientos subsiguientes el cauce cambia su dirección buscando zonas de mayor pendiente.
- **Delta.** Es un depósito de sedimentos granulares y finos en forma de abanico formado por la descarga de un cauce hacia un cuerpo de agua (mar, estuario, lago embalse u otro río grande) por un cambio de régimen de escurrimiento a uno de menor velocidad y pendiente que causa un esparcimiento de sedimentos arenosos, limosos y arcillosos. En zonas costeras, a veces alojan estuarios.
- **Estuario.** Es un cuerpo de agua salobre en el extremo costero de un delta que recibe la descarga de uno o varios ríos y tiene una conexión libre hacia el mar abierto. Se caracteriza por la presencia de sedimentos finos, limos, arcillas y turbas. Su formación se debe a que la descarga del o los ríos está sujeta a fuertes efectos de mareas que contrarrestan la energía hidrodinámica de descarga de los ríos. La frontera entre el estuario y el mar es generalmente una barra formada por arenas finas, la cual se abre por desbordamiento del río que descarga al mar durante avenidas y se cierra parcial o totalmente en los estiajes por efectos de marea y las corrientes de litoral con un efecto regulador de los escurrimientos.

Los datos requeridos para caracterizar un delta, cono de deyección o estuario se indican en la tabla siguiente de este anexo.

**Tabla 1. Caracterización de un delta o cono de deyección**

Características:

Fecha: \_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_

Datos generales		
Nombre del delta o cono de deyección	Grijalva	Usumacinta
Río principal		
Afluentes principales		
Municipio de la desembocadura		
Municipios en la cuenca		
Región receptora en caso de cono de deyección		
Estuario receptor		
Aspectos geográficos de la cuenca de drenaje		
Área (km <sup>2</sup> )		
Longitud del río principal (km)		
Descarga media anual (km <sup>3</sup> /año)		
Gasto medio anual del río principal (m <sup>3</sup> /s)		
Gasto pico medio anual del río principal (m <sup>3</sup> /s)		
Extensión histórica del delta (km <sup>2</sup> )		
Extensión de estuarios o humedales existentes (km <sup>2</sup> )		
Extensión de áreas de desarrollo (urbano, rural, suburbano, agrícola, industrial) (km <sup>2</sup> )		
Ancho del delta en la costa (km)		
Actividad hidráulica dominante en la descarga (marea, escurrimiento del río, combinada)		
Retención de sedimentos a la entrada del delta (%)		
Uso de agua que se utiliza o deriva a la entrada del delta (%)		
Características fisicoquímicas		
Nitrógeno inorgánico disuelto DIN (mmol/año)	Grijalva	Usumacinta
Fósforo inorgánico disuelto FIN (mmol/año)		
Silicatos (mmol/m <sup>3</sup> )		
Descarga de sólidos en suspensión DSS (millones de toneladas /año)		
Concentración media de la descarga de sólidos en suspensión (g/l)		
Concentración máxima de la descarga de sólidos en suspensión (g/l)		
Salinidad del agua del mar frente a la descarga del río [ppm]		
Aspectos socio-económicos y demográficos del delta		
Población actual en el delta área (millones)		
Población en riesgo en el peor caso de inundación pronosticada (millones)		
Población en riesgo en el peor caso de inundación del río pronosticada (millones) descarga media anual (km <sup>3</sup> /año)		
Población en riesgo en el peor caso de una tormenta ciclónica pronosticada (millones)		
Cambio de población en los últimos 25 años (%/año)		
Inversión pública y privada en el delta (miles de millones de \$)		
Inversión pública y privada en riesgo en el delta en el peor caso de una inundación del río (miles de millones de \$)		

### Hidrografía, hidrología e hidráulica

- Gastos líquido y sólidos, velocidad, y transporte de sedimentos para diferentes caudales en particular cuando los caudales bajos, medios y altos.
- Extensión de las cuencas y sub-cuencas con isoyetas de precipitación media anual (mm).
- Localización de aprovechamientos de agua (presas, manantiales, sitios de proyecto).

### Geología

- Establecer la geología regional (histórica y estructural). En sitios estratégicos, levantar la geología de detalle del cauce y una franja aledaña a las márgenes hasta donde se extiende la inundación, incluyendo la verificación de deslizamientos, avalanchas o inestabilidad de márgenes que puedan obstruir o modificar en planta la forma y curso del cauce.

### Geotécnicos

Determinar el origen, clasificación y estratigrafía de suelos, sedimentos y macizos rocosos en el subsuelo del cauce, de sus márgenes, y zonas aledañas o planicies de inundación, mediante la definición de perfiles de socavación y secciones estratigráficas de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el sistema de clasificación de macizos de roca de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, respectivamente.

En sitios especiales donde se pretenda efectuar una obra hidráulica, desarrollar la exploración geotécnica del subsuelo y establecer un modelo geotécnico con base en la determinación de parámetros de resistencia al corte, de deformabilidad y de conductividad hidráulica de los materiales del subsuelo que permita el diseño de la obra.

Identificar los sitios y zonas del cauce donde ocurre la erosión de suelos y rocas, el transporte de sedimentos, el depósito de sedimentos, la combinación de eventos y medir y obtener las curvas granulométricas de la carga de sedimentos y arrastre de fondo, en función de diferentes caudales y tirantes de agua.

### Acciones preventivas

- **Generales.** Establecer restricciones a los asentamientos humanos y la construcción de infraestructura en las zonas de divagación del río, y usar las áreas naturales de regulación del mismo para atenuar impactos de avenidas extraordinarias.

1. Demarcación de zona federal, y zonas de riesgo inundación asociadas a diferentes caudales con diferentes periodos de retorno.
2. Detectar embalses formados por deslizamiento o avalanchas, ya que la obstrucción de cauces por ellos ocasionados puede causar almacenamientos de agua súbitos, los cuales se constituyen un riesgo potencial durante la rotura posterior que normalmente ocurre por el desbordamiento de agua en dicha obstrucción.
3. Después de la ocurrencia de una inundación, avalancha o alud es indispensable delimitar la extensión de inundaciones avalanchas (o aludes) en las zonas montañosas, planicies y zonas de delta o conos de deyección, marcando huellas del evento en el cauce y en las obras hidráulicas u urbanas existentes que cruzan o invaden el cauce.
4. Representar perfiles longitudinales del fondo del cauce, correlacionados con huellas de inundación históricas, incluyendo perfiles de la topografía aledaña al cauce.
5. Determinar la capacidad de conducción de gasto líquido y sólido de los cauces. Los cauces de los ríos tienen una capacidad de conducción de gasto líquido y sólido, una capacidad de cauce durante el estiaje y otra durante avenidas. Esta capacidad varia si el cauce es libre, es decir que su escurrimiento es natural, sin ninguna obra de control, ni una que obstruya su escurrimiento. Si el cauce está controlado con presas de almacenamiento o de regulación de avenidas, la capacidad del cauce dependerá de la capacidad de regulación de la presa, de la capacidad de descarga del vertedor y de la obra de control de descargas.
6. Delimitar zonas potenciales de inundación en las que puede ocurrir la pérdida de vidas humanas y daño a sus bienes e infraestructura debido cambios súbitos del tirante de agua mayores de 30 cm provocados por el desbordamientos del cauce o la velocidad de la onda de inundación de descarga ordinarias y extraordinarias del vertedor o la falla de una presas. Con base en lo anterior, se deben establecer.
  - Sitios seguros para reubicar damnificados.
  - Definir albergues temporales que se usarán durante la inundación.
  - Desarrollar mapas de riesgo de inundación en función de caudales para diferentes periodos de retorno y la eventual rotura de presas existentes en el cauce.



7. **Cruces.** Identificar obras hidráulicas o urbanas nuevas o existentes que cruzan, invaden u obstruyen los cauces, así como aquellas que obstruyen zonas, áreas o regiones naturales de avulsión, divagación y regulación natural en deltas, conos de deyección y estuarios de planicies de inundación. Establecer un inventario de:
  - Líneas vitales (acueductos, oleoductos, gasoductos, tuberías de telecomunicación).
  - Autopistas, carreteras y caminos rurales.
  - Ferrocarril.
  - Terracerías.
  - Puentes, vados y alcantarillas.
  - Presas, bordos, diques y presas de jales.
  - Rellenos o tiraderos de basura.
  - Otras obras.
8. Estudios actualización y verificación de estabilidad. Identificar obras estratégicas por construir o por conservación de las existentes verificando que cumplan con criterios de diseño actualizados. Para lo anterior, se deben realizar estudios de actualización hidrológico-hidráulica y revisión de los criterios de diseño estructural y funcional de las obras existentes.
9. Inestabilidad de márgenes. Ante avenidas ordinarias y extraordinarias identificar zonas de ataque erosivo a márgenes e inestabilidad de márgenes, bordos marginales u otras estructuras de protección, por vaciado rápido de los ríos.

#### **Acciones correctivas**

Establecer prioridades de atención con base en la valoración de consecuencias de una inundación.

#### **Reglamentación de la construcción en zonas urbanas para:**

- Evitar la obturación de sistemas de drenaje pluvial. Identificar obras que pueden ser afectadas por azolves, la erosión y el arrastre de basura de rellenos. Establecer programas anuales de desazolve de estructuras pluviales, obras y presas de regulación, antes de la temporada de lluvias.
- Reglamentar el movimiento de tierras (excavaciones, cortes, rellenos y tiraderos).
- Reglamentar las prácticas de construcción a través de la creación de normas de vigilancia y control de los cor-

tes y rellenos que se realizan de manera desordenada dentro de ciudades.

- Establecer zonas aptas, restringidas, y no aptas para desarrollo urbano.
- Identificar las tendencias de construcción urbana y de construcción de obras de infraestructura dentro de cauces y zonas de divagación y de avulsión (zonas negras) y clasificarlas como: populares sin proyectos de ingeniería o con proyectos de ingeniería habitacional, tipo industrial, de servicios, y de unidades habitacionales.

#### **En valles**

Ubicar sitios estrechos para construir estructuras de retención y disipación de energía de los sedimentos y acarreo como:

- Diques o cortinas permeables de concreto perforado, gaviones o enrocamientos.
- Dientes o contrafuertes de concreto o mampostería.

Para el diseño de las obras anteriores se requiere:

- Realizar hidrogramas y velocidad de caudal líquido y sólido, así como el volumen y concentración de sólidos de los sedimentos o acarreo a retener en dichas obras, tomando en cuenta que las mismas tendrán una vida útil limitada.
- Valorar la seguridad estructural y funcional de las obras hidráulicas existentes en el cauce, principalmente las presas.
- Evaluar el comportamiento estructural y funcional de presas existentes en cauces principales y afluentes, conforme a criterios actuales de verificación de la estabilidad o de la funcionalidad con base en la actualización de estudios hidrológicos e hidráulicos para el manejo del embalse y vertedor.

#### **En planicies de inundación**

En estas zonas es imperativo respetar o restituir los procesos naturales más importantes que ocurren en las planicies aluviales, cuya alteración causa mayor impacto negativo e inundación a la población.

#### **Zonas negras**

Delimitar, recuperar o adecuar las zonas siguientes en las cuales no se debe permitir la construcción de vivienda, ni la obstrucción de las mismas con obras de infraestructura:

- Zonas de divagación de avenidas.
- Áreas y recintos bajos de regulación natural en las planicies de inundación ate avenidas.
- Zonas de avulsión.
- Obstrucciones inducidas u ocupaciones por desarrollos urbanos por obras hidráulicas u obras inadecuadas.

### Adecuación de trayectoria de cauces mediante cortes de terreno natural

Tener presente los **cambios de paradigma** para evitar la construcción de obras que han demostrado no funcionar en las zonas de divagación y de regulación natural de las planicies como: bordos de encauzamiento próximos al barrote del cauce, todo tipo de espigones (de enrrocamiento, bolsacreto, losas perforadas sobre pilotes) desazolves, protecciones marginales de taludes, etcétera.

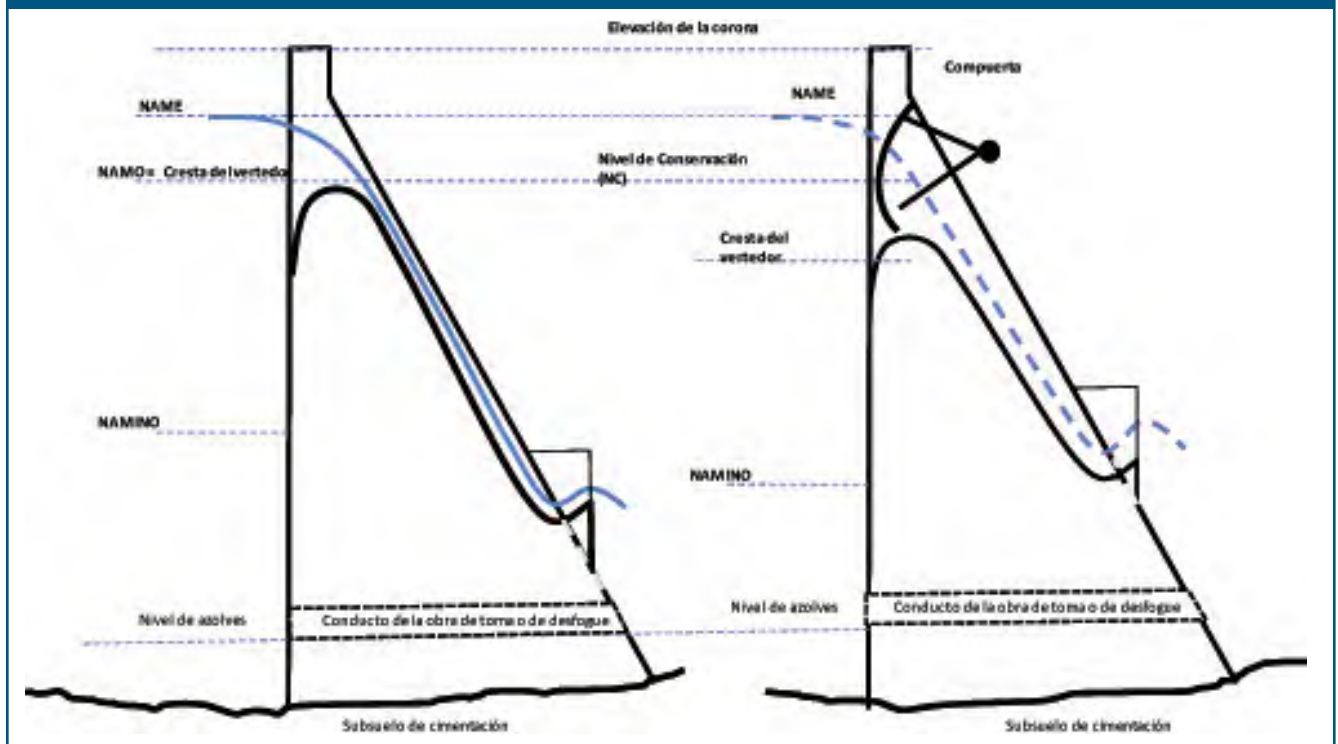
- **NAME.** Nivel de aguas máximas asociado a un periodo de retorno que alcanza el embalse al transitar la avenida máxima de ingreso y obtiene la descarga del caudal máximo del vertedor.

- **NAMO.** Nivel de aguas máximas de operación del embalse para satisfacer las demandas del uso de la presa a través de la obra de toma o la obra de desfogue.
- **NAMINO.** Nivel de agua mínimo del embalse para ofrecer el gasto de diseño de la toma a descarga con válvulas o compuertas 100 % abiertas.
- **Nivel de Conservación (NC).** Nivel de aguas máximas de operación del embalse para satisfacer las demandas del uso de una presa la cual es manejada con un vertedor controlado con compuertas.
- **Nivel de azolve.** Elevación equivalente al volumen de sedimento acarreado al fondo del embalse durante la vida económica de la presa (ver figura 1).

#### Leyenda:

- VO = Almacenamiento nulo.
- Ed = Elevación media de desplante de la cortina.
- Va = Volumen de azolves.
- Ea = Elevación de azolves.
- Vu = Almacenamiento útil = Volumen al NAMO o al NC menos el volumen de azolves.
- Eu = Elevación al NAMO.

Figura 1. Niveles de almacenamiento en presas



- $V_m$  = Almacenamiento máximo para controlar la avenida máxima de diseño que ingresa al embalse y la descarga regulada del vertedor.
  - $E_m$  = Elevación al NAME.
  - $\Delta V = V_m - V_u$  = Volumen disponible para regulación de avenidas que ingresan al vaso ( $T_r = 10,000$  años) (ver figura 2).
  - BL = Bordo libre.
  - $V_d$  = Almacenamiento al nivel de la corona.
  - $H$  = Altura estructural de la cortina.
- Legenda:**
- VO = Almacenamiento nulo.
  - $E_d$  = Elevación media de desplante de la cortina.
  - $V_a$  = Volumen de azolves.
  - $E_a$  = Elevación de azolves.
- $V_r$  = Volumen útil para regular avenidas ordinarias que ingresan al vaso ( $T_r = 500$  a  $1,000$  años) = volumen al NAMO menos el volumen de azolves.
  - $E_u$  = Elevación al NAMO (ver figura 3).
  - $V_m$  = Almacenamiento máximo para control de la avenida máxima de diseño.
  - $E_m$  = Elevación al NAME.
  - $\Delta V = V_m - V_r$  = Volumen disponible para regular avenidas extraordinarias que ingresan al vaso ( $T_r = 10,000$  años).
  - BL = Bordo libre.
  - $V_d$  = Almacenamiento al nivel de la corona.
  - $H$  = Altura estructural de la cortina.
  - $R$  = Tirante de diseño para la obra de control al transitar la avenida máxima ordinaria que ingresa la vaso.
  - $T$  = Tirante para la obra de control al transitar la avenida máxima extraordinaria de diseño en el vaso.

Figura 2. Curva elevaciones-capacidades del vertedor. Representación gráfica de los volúmenes de almacenamiento de agua respecto a las elevaciones topográficas del embalse

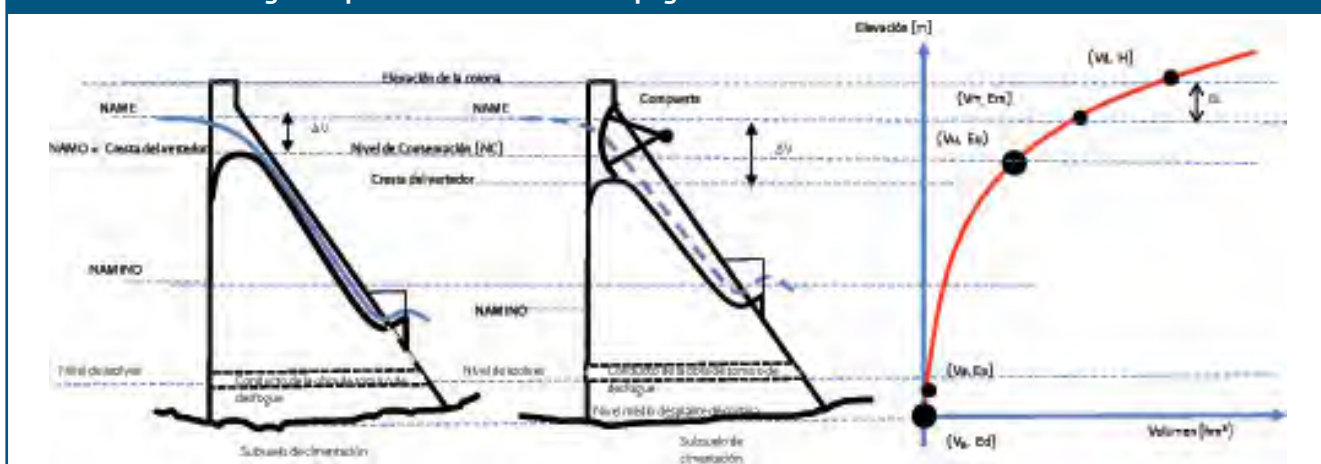
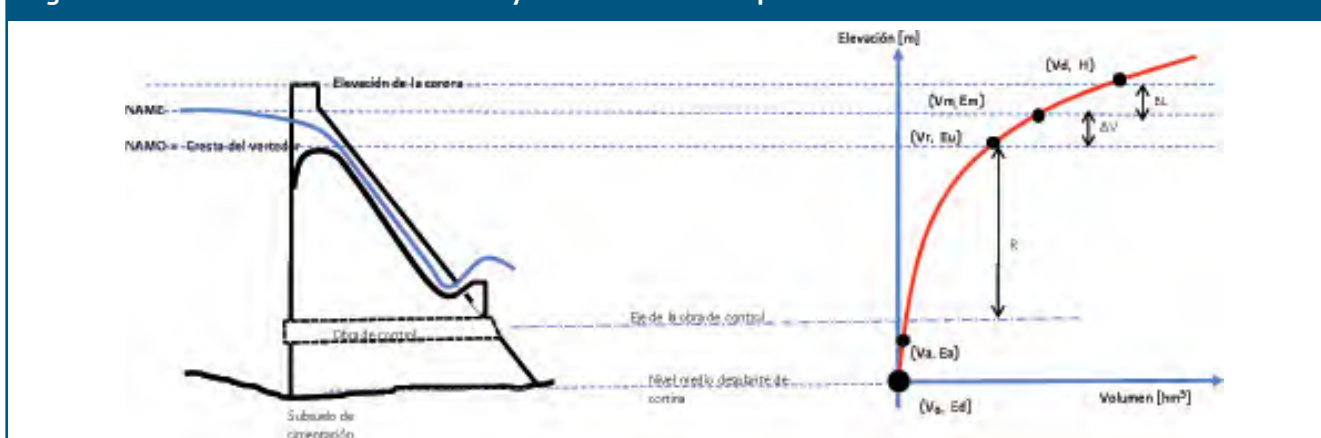


Figura 3. Presa de control de inundaciones y su curva embalse-capacidades



# Anexo 20.

## Competencia de los municipios y análisis de leyes federales

### Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

#### Artículo 115:

- III. Los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes:
  - a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales.
  - b) Alumbrado público.
  - c) Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos.
  - d) Mercados y centrales de abasto.
  - e) Panteones.
  - f) Rastro.
  - g) Calles, parques y jardines y su equipamiento.
  - h) Seguridad pública, en los términos del artículo 21 de esta Constitución, policía preventiva municipal y tránsito; e
  - i) Los demás que las legislaturas locales determinen según las condiciones territoriales y socio-económicas de los municipios, así como su capacidad administrativa y financiera.
- V. Los municipios, en los términos de las leyes federales y estatales relativas estarán facultados para:
  - d) Autorizar, controlar y vigilar la utilización del suelo, en el ámbito de su competencia, en sus jurisdicciones territoriales.
  - i) Celebrar convenios para la administración y custodia de las zonas federales.

### Ley de Aguas Nacionales

#### Artículo 9: son atribuciones de “la Comisión” en su nivel nacional, las siguientes:

- XL. Participar en el sistema nacional de protección civil y apoyar en la aplicación de los planes y programas

de carácter federal para prevenir y atender situaciones de emergencia, causadas por fenómenos hidrometeorológicos extremos;

- XLII. Proponer al Titular del Poder Ejecutivo Federal la expedición de decretos para el establecimiento, modificación o extinción de zonas de veda y de zonas reglamentadas para la extracción y distribución de aguas nacionales y para su explotación, uso o aprovechamiento, así como declaratorias de reserva de aguas nacionales y de zonas de desastre;
- L. En situaciones de emergencia, escasez extrema, o sobreexplotación, tomar las medidas necesarias, normalmente de carácter transitorio, las cuales cesarán en su aplicación cuando “la Comisión” así lo determine, para garantizar el abastecimiento del uso doméstico y público urbano, a través de la expedición de acuerdos de carácter general; cuando estas acciones pudieren afectar los derechos de concesionarios y asignatarios de aguas nacionales, concertar con los interesados las medidas que correspondan, con apego a esta Ley y sus reglamentos;

#### Artículo 12 BIS 6

Los organismos de cuenca, de conformidad con los lineamientos que expida “la Comisión”, ejercerán dentro de su ámbito territorial de competencia las atribuciones siguientes:

- XXV. Participar en el sistema nacional de protección civil y apoyar en la aplicación de los planes y programas de carácter federal para prevenir y atender situaciones de emergencia, causadas por fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios;

#### Artículo 29 BIS 3

La concesión o asignación para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales sólo podrá extinguirse por:

- 4. Porque ceda o trasmita sus derechos temporalmente a “la Autoridad del Agua” en circunstancias especiales. Este es el único caso permitido de transmisión temporal y se refiere a la cesión de los derechos a “la Autoridad del Agua” para que atienda sequías extraordinarias, sobreexplotación grave de acuíferos o estados similares de necesidad o urgencia;

#### Artículo 83

“La Comisión”, a través de los organismos de cuenca, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales,

o en concertación con personas físicas o morales, deberá construir y operar, según sea el caso, las obras para el control de avenidas y protección de zonas inundables, así como caminos y obras complementarias que hagan posible el mejor aprovechamiento de las tierras y la protección a centros de población, industriales y, en general, a las vidas de las personas y de sus bienes, conforme a las disposiciones del Título Octavo.

“La Comisión”, en los términos del reglamento, y con el apoyo de los organismos de cuenca, clasificará las zonas en atención a sus riesgos de posible inundación, emitirá las normas y recomendaciones necesarias, establecerá las medidas de operación, control y seguimiento y aplicará los fondos de contingencia que se integren al efecto.

Los organismos de cuenca apoyarán a “la Comisión”, de conformidad con las leyes en la materia, para promover, en su caso, en coordinación con las autoridades competentes, el establecimiento de seguros contra daños por inundaciones en zonas de alto riesgo, de acuerdo con la clasificación a que se refiere el párrafo anterior.

- Artículo reformado DOF 29-04-2004.

#### **Artículo 84**

“La Comisión” determinará la operación de la infraestructura hidráulica para el control de avenidas y tomará las medidas necesarias para dar seguimiento a fenómenos climatológicos extremos, promoviendo o realizando las acciones preventivas que se requieran; asimismo, realizará las acciones necesarias que al efecto acuerde su Consejo Técnico para atender las zonas de emergencia hidráulica o afectadas por fenómenos climatológicos extremos, en coordinación con las autoridades competentes.

Para el cumplimiento eficaz y oportuno de lo dispuesto en el presente artículo, “la Comisión” actuará en lo conducente a través de los organismos de cuenca.

#### **Artículo 117**

El Ejecutivo Federal por sí o a través de la Comisión podrá reducir o suprimir mediante declaratoria la zona federal de corrientes, lagos y lagunas de propiedad nacional, así como la zona federal de la infraestructura hidráulica, en las porciones comprendidas dentro del perímetro de las poblaciones.

Los estados, el Distrito Federal, los municipios o en su caso los particulares interesados en los terrenos a que se

refiere este artículo, deberán presentar a “la Comisión” para su aprobación el proyecto para realizar las obras de control y las que sean necesarias para reducir o suprimir la zona federal.

“La Comisión” podrá convenir con los gobiernos de los estados, del Distrito Federal o de los municipios, las custodias, conservación y mantenimiento de las zonas federales referidas en este Artículo. En el caso de los particulares interesados, esto se realizará mediante subasta pública.

## **Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales Control de Avenidas y Protección Contra Inundaciones**

#### **Artículo 127**

“La Comisión” fomentará el establecimiento de programas integrales de control de avenidas y prevención de daños por inundaciones, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativas que al efecto se requieran. Dentro de la programación hidráulica se fomentará el desarrollo de proyectos de infraestructura para usos múltiples, en los cuales se considere el control de avenidas y la protección contra inundaciones.

Conforme a lo anterior, “La Comisión” podrá prestar la asesoría y apoyo técnico que se le requieran para el diseño y construcción de las obras que controlen corrientes de propiedad nacional, así como las relativas a la delimitación de zonas federales. El comportamiento y operación de las obras que no diseñe o construya directamente “La Comisión” será responsabilidad de quien las realice.

#### **Artículo 128**

“La Comisión” establecerá un sistema de pronóstico y alerta contra inundaciones y organizará la formulación de planes regionales de operación para aminorar los daños por inundación e implantar las medidas de emergencia conducentes.

#### **Artículo 129**

“La Comisión”, en el ámbito de su competencia y en coordinación con las demás autoridades competentes y con las personas responsables, promoverá la integración y actualización de un inventario del estado de las obras hidráulicas públicas, privadas o sociales, con la finalidad de identificar medidas necesarias para la protección de la infraestructura hidráulica.



Conforme a lo anterior, la ejecución de las medidas identificadas será responsabilidad de los titulares de las obras y en su caso de los administradores o concesionarios que tengan a su cargo su operación y conservación, sin perjuicio de la responsabilidad que corresponda a los primeros.

#### **Artículo 130**

“La Comisión”, conforme a los lineamientos que acuerde su Consejo Técnico, promoverá el establecimiento y aplicación de fondos de contingencia, integrados con aportaciones de la Federación, de los gobiernos de las entidades federativas y de las personas interesadas, para lograr la disminución de daños y prever la solución de problemas.

#### **Artículo 131**

Para efectos de los artículos 83 y 98 de la “Ley”, “la Comisión”, en el ámbito de su competencia, otorgará el permiso para la construcción de obras públicas de protección contra inundaciones o promoverá su construcción y operación, según sea el caso, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, o en concertación con las personas físicas o morales interesadas.

No quedan comprendidas en lo dispuesto en este artículo, las obras públicas de drenaje pluvial en los centros de población, las cuales están a cargo y bajo la responsabilidad de las autoridades locales.

#### **Artículo 132**

“La Comisión” promoverá y, en su caso, realizará los estudios necesarios que permitan clasificar las zonas inundables asociadas a eventos con diferente probabilidad de ocurrencia, en atención a los riesgos que presentan a corto y largo plazos. Asimismo promoverá, dentro de la programación hidráulica, el establecimiento de las zonas restringidas y de normas para el uso de dichas zonas, que establezcan las características de las construcciones con objeto de evitar pérdidas de vidas y daños.

#### **Artículo 168**

Los propietarios de los terrenos colindantes o aledaños a las riberas o a la zona federal a cargo de “La Comisión”, de conformidad con lo que prevé el párrafo tercero del artículo 114 de la “Ley”, deberán dar aviso por escrito a la misma cuando tengan conocimiento de que debido

a las corrientes o movimientos de agua en los vasos se estén cubriendo o inundando sus terrenos en forma continua o cíclica.

En este caso, los interesados darán aviso asimismo de la ejecución de las obras de defensa o rectificación que en su caso pretendan realizar, mismas que deberán sujetarse a los requisitos técnicos que establezca “la Comisión”.

#### **Artículo 169**

“La Comisión” al recibir el aviso al que se refiere el artículo anterior, podrá:

- I. Practicar inspección en el lugar;
- II. Notificar al interesado para que presente el proyecto ejecutivo de las obras de defensa o de rectificación para su sanción por “La Comisión”, y
- III. En el caso de rectificación, publicar un aviso en el Diario Oficial de la Federación convocando a los colindantes para que el día y hora que se señale estén presentes y conozcan hasta dónde llegarán los límites de la zona federal, levantando acta de ello.

#### **Artículo 170**

Los afectados que hagan uso del derecho a que se refiere el artículo 115 de la “Ley”, deberán presentar título o documento que compruebe fehacientemente su propiedad.

“La Comisión” llevará a cabo los estudios para determinar la parte proporcional de superficie que quede disponible para compensar al afectado. Los trabajos correspondientes serán con cargo a los beneficiarios.

#### **Artículo 171**

Para efectos de los artículos 97 y 98 de la “Ley”:

- I. Sólo podrán ejecutarse obras para encauzamiento, dragado, limitación o desecación parcial o total de corrientes y depósitos de agua de propiedad nacional, previo permiso de “la Comisión”, la que determinará la forma y términos para ejecutar dichas obras, y
- II. “La Comisión”, en el ámbito de su competencia, podrá permitir la construcción de canales y dársenas en la ribera o zona federal de corrientes, lagos o lagunas a su cargo.

El permiso a que se refiere el presente artículo se podrá tramitar conjuntamente con la concesión de la zona federal a cargo de “la Comisión”, cuando ésta se requiera

para el proyecto aprobado o con motivo de la actividad a realizar.

#### **Artículo 172**

Para efectos del artículo anterior, los permisos que se otorguen para realizar las obras respectivas, deberán contener entre otros los siguientes datos:

- I. Nombre, nacionalidad y domicilio de la persona física o moral a quien se otorgue el permiso;
- II. Plazo para la realización de las obras;
- III. Condiciones técnicas que deban cumplirse, y
- IV. Uso o aprovechamiento que se hubiese solicitado para los terrenos que se ganen con el encauzamiento, limitación o desecación de la corriente o vaso respectivo.

#### **Artículo 173**

Para efectos del artículo 117 de la ley, cuando la zona federal de corrientes, lagos y lagunas se encuentren dentro del perímetro o fundo legal de las poblaciones de su jurisdicción, las autoridades estatales o municipales acompañarán a su solicitud el plano del área urbana, para que se determinen las zonas federales de supresión o desincorporación.

Revisados y aprobados los planos, “la Comisión” convocará a los colindantes a través de aviso de demarcación publicado en el Diario Oficial de la Federación y en la gaceta o periódico oficial de la o de las entidades federativas respectivas, para que el día y hora que se señale estén presentes y tengan conocimiento de los límites de la zona federal que colinda con su predio. Enterados y estando de acuerdo los colindantes con los linderos señalados, se levantará un acta en la que se hará constar su conformidad.

En el caso de que haya oposición, se continuará la diligencia de la demarcación y se recibirán los documentos que funden la oposición para que previo estudio, “la Comisión” resuelva lo que proceda.

#### **Artículo 176 del Reglamento de la LAN:**

Aunque no lo dice, pero en situaciones de emergencia, podría darse permiso de extracción de material en donde haya quedado acumulado por las crecientes.

#### **La Ley de Planeación**

Este documento no hace mención alguna específica a los programas de Protección Civil sólo habla de programas sectoriales.

El reglamento de la ley de Protección Civil del estado de Jalisco únicamente habla de estaciones de servicio de combustible.

## Anexo 21.

# Análisis de las leyes estatales de protección civil

Se analizaron las leyes de Protección Civil de los 31 estados y el Distrito Federal, encontrándose entre otras cosas lo siguiente:

- La ley vigente más antigua es la del estado de Querétaro y data del año 1992.
- La Ley de Protección Civil del estado de Yucatán cuenta con 144 artículos, siendo la más prolífica, mientras que la de Morelos es la más corta con sólo 44 artículos, seguida de la ley del estado de México con 53 artículos.
- Prácticamente todos hacen una clasificación de los riesgos que puedan afectar al estado y casi todos los clasifican regularmente en desastres por fenómenos naturales y desastres por actividades humanas. Sólo el estado de Hidalgo introduce la categoría de Desastres Tecnológicos.
- En todos los casos, el responsable del primer contacto con la emergencia es el municipio.
- En la Ley de Protección Civil se propone realizar una declaratoria de emergencia con el propósito de aplicar las medidas de apoyo para esas circunstancias. En algunas ocasiones no se le llama emergencias sino alerta o algún otro nombre, en otras ocasiones se denominan **declaratorias de desastre** que indican un nivel mayor de intensidad.
- Dos o tres de las leyes analizadas mencionan específicamente a las inundaciones, pero sólo como parte de la clasificación de las emergencias hidrometeorológicas.
- Aunque algunas de las leyes mencionan los albergues, ninguna llega a plantear la ubicación de los mismos.
- La mayoría de las leyes establecen la posibilidad y en ocasiones la obligación de realizar simulacros, sin embargo no hay una sola ley que especifique que se deba realizar un simulacro específico en el caso de inundaciones.
- La ley de Protección Civil del estado de Durango, propone que la edad mínima para el responsable de

Protección Civil en el estado sea de 21 años; y para agravar, deberá además tener experiencia en el área.

- El estado de Jalisco propone el cobro por la prestación de los servicios de Protección Civil, siendo que estos servicios son asistenciales a personas que en ocasiones no pueden responder por el estado de salud o de *shock* en el que se encuentran. Será interesante saber si en la atención a una emergencia, se cobraría el servicio de manera selectiva o sólo se atendería a los que puedan pagarlo.
- La ley de Protección Civil vigente en el estado de Quintana Roo, (la más reciente, pues apenas entró en vigor en el mes de junio de 2009) propone la contratación de seguros para la infraestructura contra los efectos de desastres, principalmente desastres naturales. Estos seguros serían complementarios a los que pudieran existir para proteger la infraestructura de algunos sectores como la CONAGUA, la Comisión Federal de Electricidad, etcétera.

## Recomendaciones

Algunas recomendaciones importantes durante la etapa de diseño de una escuela, gimnasio o cualquier edificación de uso colectivo, es que se construyan en terrenos que no se inundan y sean de fácil acceso, de manera que se puedan usar como albergues eventualmente.

Elaborar el Atlas de Riesgos municipal o estatal para referencia durante las emergencias.

Hacer una evaluación *ex post* una vez terminada la emergencia, para analizar la efectividad lograda, pero sobre todo, para actualizar el Atlas de Riesgo.

Cada persona del grupo de Protección Civil deberá reportar todas las acumulaciones “anormales” de agua, que eventualmente se puedan convertir en una inundación, con el objeto de incorporarla al Atlas de Riesgos.

Tener un censo de personas con alguna discapacidad y cruzarlo con el atlas para saber si en caso de inundación y evacuación de personas, será necesario contar con alguna ambulancia o silla de ruedas y tener una ruta de evacuación adecuada para ellos.

En varias leyes se plantea la existencia de albergues temporales, sin embargo por el alcance de éstas, no precisa el lugar donde sea posible la existencia de un albergue, lo mejor será tener disponible en todos los lugares,

incluso enviar a los domicilios la lista de los albergues disponibles durante la presencia de una inundación.

En el caso del estado de Durango, aumentar el umbral mínimo de edad para el responsable de Protección Civil, por lo menos a 25 o 30 años, una edad en la que aún no se ha perdido el entusiasmo de la juventud, pero también se ha alcanzado cierto grado de madurez necesario para evitar decisiones viscerales.

## Casos prácticos

Se analizó el Programa Sectorial de Protección Civil 2004-2009 del estado de Nuevo León, encontrándose que no presenta ninguna iniciativa operativa concreta, sino que se limita a proponer líneas de acción en materia de Protección Civil

Se analizó el Programa Sectorial de Vivienda y Regularización de la Tenencia de la Tierra 2004-2009 y no habla nada acerca de terrenos para retirar a los habitantes de las zonas de riesgo y asentarlas en terrenos regulares.

Se analizó el Código Urbano del estado de Querétaro y en su artículo 247, se menciona que “Asimismo se prohibirán o restringirán las construcciones en zonas susceptibles de inundaciones”.







Matriz de análisis de las leyes estatales de Protección Civil												
											21	
54	Edad mínima para director de PC											
55	Rutas de evacuación para discapacitados										X	
56	Las universidades son parte de PC										X	
57	Centro de operaciones móvil										X	
58	Policía ecológica										X	
59	Constancia de factibilidad PC para nuevos asentamientos										X	
60	Promueve lugares para construcción de viviendas seguras										X	
61	PC coordina al H. Cuerpo de Bomberos										X	
62	Establecimiento de centros de acopio										X	
63	Cuotas por servicios de PC										X	
64	Estudios para definir albergues en el estado										X	
65	Contratación de seguros contra desastres										X	
66	Invitación a los medios de comunicación a las sesiones del consejo estatal										X	
67	Carta de corresponsabilidad										X	X
68	Requisitos de medidas de evacuación										X	
69	Centros regionales permanentes de PC										X	
70	Vigila destino final de desechos sólidos										X	
71	Autoridad para decidir ubicación de un refugio temporal										X	
72	Declaratoria de zonas de riesgo, para reubicación										X	

## Anexo 22.

### Acciones antes, durante y después de una inundación

Las siguientes acciones corresponden a los Organismos de Cuenca, Direcciones Locales y a la Gerencia de Protección a la Infraestructura y Atención de Emergencias y están sustentadas en las atribuciones establecidas en el Reglamento Interior de la CONAGUA.

Antes de la emergencia	
Acción	Atribuciones
Informar mediante comunicado por escrito a gobernadores, presidentes municipales y responsables de los sistemas de protección civil, del inicio de la temporada de lluvias, los escenarios de precipitación a mediano plazo, y el pronóstico de ciclones. Con el propósito de tomar previsiones y disponer de personal y recursos para la atención inmediata de emergencias.	Artículo 86, Fracción XIII
Informar a los usuarios en general sobre su responsabilidad en los daños que puedan ocurrir a sí mismos o terceros debido a la invasión de cauces, zonas federales, áreas inundables y de protección de la infraestructura, o al funcionamiento deficiente de aquellas obras a su cargo que no cumplan con los requisitos establecidos por la CONAGUA.	Artículo 76, Fracciones III, IV Artículo 85, Fracciones XIII, XIV, XV, XVI y XVII
Efectuar una revisión detallada de las condiciones estructurales y funcionales de la infraestructura hidráulica en general y particularmente de protección a cargo de la CONAGUA. Se deberá dar atención especial a las presas donde ya se han identificado sus riesgos estructurales, geotécnicos e hidrológicos	Art. 82, Fracción I Artículo 84, Fracción V
Revisar y/o actualizar la información de la capacidad hidráulica de los cauces urbanos y/o aguas abajo de las presas	Art. 82, Fracción I y XI

Antes de la emergencia	
Acción	Atribuciones
Prever liquidez suficiente de recursos en combustible y viáticos para atender las acciones ante la proximidad o inminencia directa del fenómeno hidrometeorológico extremo.	Art 63, Fracción h, Art. 73, Fracciones a y b; Art. 75, Fracción V
Reparar y actualizar con las áreas operativas y administrativas los procedimientos conforme a las reglas del FONDEN y el seguro que la CONAGUA contrató para la infraestructura a su cargo.	Art. 73, Fracción XXIV
Atender y ejecutar las instrucciones del Comité Técnico de Operación de Obras Hidráulicas (CTOOH) en materia de extracciones de control, metas de almacenamiento y retiro de agujas de vertedores libres, en virtud de que estas medidas reducen los riesgos de derrames y afectación de la población y sus bienes que se encuentran colindantes a los vasos y aguas abajo de las presas.	Art. 74, Fracción I; Art. 79 Fracción XXVII
Asegurarse de que las redes de radiocomunicación de CONAGUA que se operan por administración o contrato se encuentren funcionales durante toda la temporada de lluvias.	Art. 84, Fracción IX

### Adicionalmente es conveniente que la etapa previa a la emergencia, se lleven a cabo las siguientes acciones:

- Contar con un padrón de empresas con maquinaria de construcción y equipo propio dentro del área de su jurisdicción para atender las emergencias; incluyendo los números telefónicos y nombres de los responsables para su localización oportuna, contar con un catálogo de conceptos actualizado de obras y acciones para atender desbordamiento de ríos y restablecimiento de los servicios de agua potable.
- Verificar insumos para el saneamiento básico en los almacenes de los OC's y DI's.
- Tener actualizado directorio de funcionarios federales, estatales y municipales del Sistema Estatal de Protección Civil que corresponda.

- Comunicar por escrito a los organismos operadores cuyas líneas de conducción atraviesen zonas federales y/o zonas inundables acerca de la necesidad de contar con un respaldo de piezas especiales y tubería en almacén para atender casos de pérdida de esta infraestructura durante fenómenos hidrometeorológicos extremos.
- Identificar la localización y disponibilidad de bancos de materiales de construcción en la proximidad de las obras con riesgo, para poder atender las situaciones de emergencias, principalmente fallas que en ellas pudieran presentarse.
- Asegurarse de que los mecanismos de operación de los vertedores controlados, las plantas de generación de emergencia en presas, plantas de bombeo y demás obras, así como la maquinaria a cargo de la CONAGUA, estén en condiciones de operar en el momento que se requiera.
- Asegurarse que los caminos de acceso a la cortina y a las obras accesorias (vertedor y obras de toma) de una presa, permanezcan transitables en todo tiempo para vehículos y maquinaria de construcción, incluyendo sus puentes y vados.
- Identificar de fuentes alternativas para el abastecimiento de agua potable, cercanas a albergues o a puntos de distribución donde se puedan instalar estratégicamente plantas potabilizadoras.
- Efectuar una revisión detallada de cauces, ríos, arroyos y lagunas y verificar que estén libres de obstrucciones, en los sitios donde por experiencia previas se conoce que se pueden generar problemas durante las crecientes.
- Comunicar por escrito a los responsables de la infraestructura urbana o carretera que crucen corrientes de propiedad nacional de la necesidad de mantener libres de obstrucciones y/o basura las áreas hidráulicas de sus estructuras.

## Durante la emergencia

Acciones durante la emergencia	
Acción	Atribución
Elaborar los pronósticos hidrológicos en ríos y embalses que contribuyan en la construcción de escenarios para toma de decisiones.	Art. 82, Fracción XV
Sostener reuniones de trabajo con los Gobiernos de los Estados (Sistemas de Protección Civil) y las fuerzas armadas locales y exponer los escenarios de corto plazo de: trayectoria de ciclones tropicales que puedan afectar la región, pronóstico de precipitación, pronóstico de crecientes y en su caso manejo de presas así como las medidas para enfrentar los probables escenarios, finalmente actualizar los canales de comunicación.	Art.80, Fracción VI, IX; Art. 84, Fracción VI
Ante la alta probabilidad o inminencia de impacto de un fenómeno hidrometeorológico extremo, desplazar las brigadas y plantas potabilizadoras a los sitios de atención y suministro provisional de agua potable, anticipando el probable corte de comunicación a través de caminos por crecientes extraordinarias.	Art. 84, Fracciones II, III, VIII
Conforme a pronóstico de lluvias emitido por el CSMN, elaborar el pronóstico hidrológico en corrientes y embalses, para establecer escenarios probables de operación de presas, colocación de costalera, probable evacuación, etcétera.	Art. 82, Fracción XV; Art. 86, Fracción XIII
Establecer guardias en sus Direcciones para asegurar comunicación continua y acción oportuna ante la alta probabilidad, inminencia u ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo en el ámbito de su jurisdicción.	Art. 82, Fracción XII; Art. 86, Fracción XIII
Asegurar el acopio y difusión diario de la información hidrométrica, climatológica y de embalses, y su reporte a la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. Así como los requerimientos de información a plazos más cortos durante el seguimiento y atención a un evento hidrometeorológico extremo.	Art. 82, Fracción XII; Art. 86, Fracción XIII

Acciones durante la emergencia	
Acción	Atribución
Vigilar todas las presas destinadas al control de avenidas, en particular aquellas que a la fecha se encuentren próximas de derramar.	Art. 73, Fracción XXXIV, XXXVII
Disponer de personal, recursos y vehículos para realizar inspecciones de emergencia, acopio de la información que se encuentre en campo para dictaminar emergencia o desastre conforme a reglas del FONDEN, levantamientos de daños para FONDEN o seguros o en su caso la atención de una emergencia en ocurrencia.	Art. 73, Fracción XXIV
Participar en los operativos de saneamiento que se instrumenten con el sector salud. Así como mantener actualizado el inventario de insumos para el saneamiento básico con que cuenta el Organismo de Cuenca o Dirección Local.	Art. 82, Fracción XXV, XXVI
Integrarse para apoyar a los grupos interinstitucionales del Plan DN-III, de la Secretaría de Salud Protección Civil, Organismos Operadores, Autoridades Municipales y Estatales, donde participen especialistas en salud pública e ingeniería sanitaria en la construcción de albergues para la recolección y suministro a los afectados de agua potable, medicina, ropa y alimentos.	Art. 84, Fracción III, VI, VIII

### Adicionalmente es conveniente que durante la emergencia, se lleven a cabo las siguientes acciones:

- Sostener reunión de coordinación en los OC's y DI's para actualizar y repasar los procedimientos, funciones y responsabilidades de las distintas áreas respecto a la atención de emergencias hidrometeorológicas. Así como establecer el plan de acción inmediato ante proximidad o inminencia de impacto de un fenómeno hidrometeorológico extremo.
- Avisar por escrito y enviar los pronósticos de lluvia a gobernadores, presidentes municipales, responsables de los sistemas de protección civil.

- Durante la ocurrencia de una creciente ubicar y vigilar zonas con riesgo de erosión marginal que pongan en peligro de inundación a la infraestructura, población o la estabilidad de márgenes.
- Durante la ocurrencia de una creciente, revisar las laderas de embalses y empotramientos de presas para descartar riesgos de deslizamientos o avalanchas. Comunicar a la Dirección General, Subdirección General Técnica y Coordinación de Atención a Emergencias y Consejos de Cuenca, de la evolución del fenómeno y la atención a la emergencia en ocurrencia.

### Después de la emergencia

Acciones después de la emergencia	
Acción	Atribución
Sostener reuniones de coordinación en los OC's y DI's para recapitular cuales fueron los aciertos y carencias en la aplicación de los procedimientos. Actualizar los manuales locales de procedimientos.	Art. 73, Fracción XXIV; Art. 75, Fracción II
Elaborar o actualizar planes de emergencia para disponer de mapas de inundación, ubicación de rutas de evacuación y sitios de albergue, y directorios telefónicos recientes.	Art. 63, Fracción II Inciso H
Evaluar y documentar daños estructurales y funcionales de la infraestructura hidráulica y sanitaria (redes de agua potable y alcantarillado, plantas potabilizadoras y de aguas residuales), y en su caso, preparar estudios y proyectos para reparar obras dañadas mediante el reclamo de siniestros a la aseguradora o la gestión de declaratorias de zona de desastre y en su caso el financiamiento del FONDEN. A través de los canales correspondientes.	Art. 63, Fracción II Inciso C; Art. 84, Fracción IV, V

### Adicionalmente después de la emergencia, es conveniente se lleve a cabo la siguiente acción:

- Realizar el cierre administrativo del operativo en su caso, con la participación del OIC.



Este libro fue creado en InDesign e Ilustrador CS4, con la fuente tipográfica PRESIDENCIA en sus diferentes pesos y valores, utilizando papel con certificación medioambiental para su elaboración y se terminó de imprimir en febrero de 2011. México, D.F.  
El tiraje fue de 1 000 ejemplares.





[www.gobiernofederal.gob.mx](http://www.gobiernofederal.gob.mx)  
[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)  
[www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)