

Una aproximación de los sistemas emergentes en la gestión del agua doméstica urbana.

Caso: Hermosillo, Sonora

M.C. ARTURO OJEDA DE LA CRUZ

Correo: ojeda@dicym.uson.mx

Estudiante de Doctorado en Arquitectura y Asuntos Urbanos /UANL.

Departamento de Ing. Civil y Minas /UNISON

Publicado en Epistemus Año 5, No.10, Diciembre-Junio 2011, Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro, a través de las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud.

En este artículo, se exponen diversas posturas y enfoques citados en la literatura científica, que le da un atractivo realce y un claro respaldo a la descripción de los sistemas emergentes en la gestión del agua para uso urbano. Se describe la pertinencia de un método señalado como Modelo Basado en Agentes (ABM) el cual busca mejorar la gestión del agua. Al final se hace una explicación comparativa del modelo tradicional del favorecimiento a la gestión de la oferta aún con un periodo prolongado de sequía en la región de estudio. Se habla de las ventajas de la implementación de un nuevo paradigma de participación social en la gestión del agua y de la necesidad de incursionar también en una nueva forma de administración.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Hermosillo, capital del estado de Sonora, ha presentado un rápido y desordenado crecimiento durante los últimos diez años, alojando un mayor número de áreas habitacionales en puntos muy distantes y demasiado elevados con respecto a los puntos de suministro del agua en la ciudad. Debido a la insuficiente planificación conjunta del crecimiento urbano, el incremento poblacional, la poca disponibilidad del recurso hídrico en la región y la ausencia de precipitaciones significativas en los últimos diez años, se ha agudizado más la escasez del agua fundamentalmente para consumo doméstico urbano. Esta situación, pone de manifiesto que el desarrollo demográfico debería avanzar en paralelo con la planeación del recurso hídrico para tener un suministro de agua adecuado en la ciudad.

El propósito del presente trabajo es exponer una aplicación de los sistemas complejos adaptativos (CAS), en donde la interrelación de los componentes y sus atributos se identifican como propiedades emergentes. La aplicación de esta teoría considera un funcionamiento integral del sistema de gestión de agua urbana.

El estudio de la complejidad tiene la finalidad de entender la estructura de los sistemas, sus interconexiones y su conducta. Esto ha dado lugar a diferentes aproximaciones en torno a los tipos de complejidad y las propiedades de los sistemas (1).

MARCO CONCEPTUAL

1. Los Sistemas Complejos Adaptativos y las Propiedades Emergentes

Un sistema complejo se define como la clase de sistema cuyos vínculos contienen información no visible para el observador y cuyo comportamiento es poco previsible. En un sistema complejo existen propiedades que resultan de las interacciones entre elementos, las cuáles no pueden explicarse a partir de las propiedades de los elementos aislados. Este tipo de atributos se denominan propiedades emergentes. Algunas propiedades de los sistemas complejos que podemos observar en los sistemas sociales y que ayuda a entender su naturaleza y comportamiento son: la no linealidad (pequeños cambios pueden generar grandes transformaciones); atractores (puntos o estados que atraen a un sistema dinámico hacia sí); auto-organización (capacidad de cambiar su estructura básica en función de su experiencia y el ambiente que le rodea; redes (agrupación de nodos interconectados entre sí por mecanismos que pueden ser físicos o virtuales) (1). La evolución de reglas simples a complejas es lo que se llama: “emergencia” (2:19).

Los ecosistemas y los sistemas sociales son Sistemas Complejos, se les denomina complejos porque tienen muchas partes y muchas conexiones entre ellas; y son Adaptativos porque su estructura de retroalimentación les brinda la habilidad para cambiar en formas que promueven la supervivencia en un medio ambiente fluctuante. Estos comportamientos distintivos llamados propiedades emergentes, funcionan en sinergia a cada nivel de organización para otorgar a ese nivel una vida propia mayor que la suma de sus partes (3). Cada sistema puede actuar de manera no predecible, en virtud de que posee propiedades emergentes, que surgen o se manifiestan mientras el sistema o los sistemas se encuentran en acción, y que se caracterizan por ser sorprendentes e impredecibles (4).

2. La Auto-Organización y Retroalimentación

La anticipación y predicción de los agentes individuales, que al interactuar dan origen a una realidad emergente, los sistemas complejos funcionan bajo un principio de auto-organización que regula las interacciones y genera orden. Bajo ese orden, los individuos o elementos actúan de manera autónoma, tienden a actuar por su propio interés y son capaces de sobrevivir si logran sus objetivos (1). El comportamiento del sistema surge a partir de la auto-organización de sus componentes, sin que esta organización esté controlada ni dirigida por ningún ente exterior al sistema (5). Los sistemas auto-organizados usan la retroalimentación para pasar a una estructura más ordenada (2).

Los sistemas cerrados tienen retroalimentación negativa: Es un proceso que tiende a amortiguar el cambio devolviendo al sistema a su posición de equilibrio.

Esta clase de procesos se oponen al cambio, puesto que buscan siempre retornar a un estado anterior. Esta retroalimentación tiende a corregir una desviación llevando al sistema a su estado original. Un desequilibrio es una desviación, y es corregido mediante un retorno al equilibrio original. Por oposición, la retroalimentación positiva promueve el cambio y la inestabilidad, la formación de nuevas estructuras más perfeccionadas, más adaptativas, más sutiles. Implica que cuando una variable aumenta, también lo hace la otra (o bien cuando una disminuye, también disminuye la otra), esto explica finalmente cómo a partir de pequeños cambios terminan produciéndose cambios muy grandes (efecto mariposa), o bien, cómo a partir de grandes cambios terminan produciéndose modificaciones insignificantes.

Los sistemas abiertos que evolucionan caóticamente lo hacen por retroalimentación positiva (6). Así entonces, los recursos hídricos están estrechamente vinculados con una serie de componentes que lo convierten en un sistema socio-ecológico, en respuesta a los estímulos en diferentes sub-sistemas. De modo que con muchos sub-sistemas que operan a distintos niveles, el fracaso de una de estas unidades puede ser compensada por el buen funcionamiento de la otra, dando lugar a cambios adaptativos en el régimen de gestión del agua (8).

SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DEL AGUA EN HERMOSILLO

Actualmente en la ciudad de Hermosillo, Sonora se está viviendo un grave problema de escasez de agua, pues los habitantes no cuentan con este líquido durante las 24 horas del día para el consumo doméstico. Las primeras señales de falta de agua se presentaron durante el año de 1996, haciendo crisis en 1997 a pesar de que en el año de 1994 se tuvieron lluvias extraordinarias que provocó la descarga de volúmenes de agua excedentes en la presa Abelardo L. Rodríguez (ALR), que se ubica a 1 kilómetro al oriente de la zona urbana en cuestión.

La curva del crecimiento demográfico, la regulación de las poblaciones, la evolución genética y la organización social son ejemplos de propiedades emergentes al nivel de organización de las poblaciones (3).

La población en la ciudad de Hermosillo registrada en el año de 1950 apenas llegaba a 43,516 habitantes, pero con la elevada tasa de crecimiento del 8.2% presentada en la década 50-60, su población tuvo el primer repunte importante para el año 1960 puesto que duplicó su población registrando un incremento poblacional del 120% (ver Fig.1). Para los años 1970 y 1980 Hermosillo nuevamente ve su ascenso en la población registrándose un incremento de 84% y de 68% nuevamente con una alta tasa porcentual de crecimiento del 6.58% y de 5.16% respectivamente.

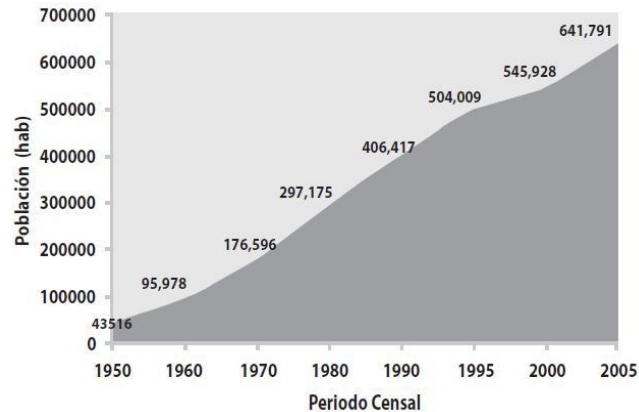


Figura1. Evolución de la población en la Ciudad de Hermosillo.
Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO en el COLSON (14)

De 1980 a 2005, Hermosillo repunta con un crecimiento prácticamente lineal pasando de una población de 297,175 a 641,791 habitantes. En este periodo la ciudad tuvo un incremento de 110%, el mayor que ha registrado en su historia.

Este rápido y no planificado crecimiento poblacional ha sido causa de otro tipo de problemas, como son el déficit recurrente del agua potable para suministro doméstico a nivel urbano y el incremento de la superficie de la mancha urbana generando con ello mayor insatisfacción para las personas en las necesidades del hogar y de movilidad en la zona urbana.

Además, con la evidente sequía que ha prevalecido por casi 10 años en la zona de estudio, se han generado mayores requerimientos de agua potable para cubrir las necesidades de los hogares, de los sectores comercial, industrial y de servicios públicos. Esta situación ha generado mayor interés tanto en las autoridades que se encargan de la toma de decisiones, como a los usuarios finales del agua.

De acuerdo con los datos expuestos por el organismo operador del agua (15), se tiene que el volumen de agua potable producido para abastecer la zona urbana de Hermosillo al año 2007 fue de 88.2 millones de metros cúbicos, cuyo volumen provino en un 100% de pozos profundos en diferentes captaciones circundantes a la ciudad. En el año 2009 se produjo un volumen de agua de 99.3 millones de metros cúbicos para el abasto. Es decir, en tan sólo dos años el requerimiento de agua en la ciudad se incrementó en un 12.6%, también proveniente de acuíferos, por lo que la presa Abelardo L. Rodríguez, única fuente de abastecimiento superficial, tiene una aportación casi nula.

En Hermosillo el suministro de agua no es al 100%, puesto que a partir de enero de 2010 el organismo operador inició el programa de “racionalización” del agua, que consiste en entregar únicamente 8 h por día a los usuarios en la ciudad; a la fecha esta limitante en el suministro está vigente. Dicha restricción también se

aplicó en el año 2005 por los mismos motivos en las fuentes de abastecimiento de agua superficial y subterránea en operación para la zona urbana de estudio.

A partir de la mitad de la década pasada, las autoridades de los tres niveles de gobierno responsables de la gestión y operación del sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad, han hecho varios intentos por resolver de manera definitiva tal situación, aplicando en todos los casos diversas alternativas que básicamente se han enfocado a la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento, preferentemente agua subterránea. Es decir, se ha buscado siempre incrementar la oferta para suministrar más agua al sistema de distribución de agua y en consecuencia a los hogares. Lo cual sigue el paradigma tradicional de una política de agua basada en la gestión de la oferta, centrada en aspectos de elevar la cantidad de agua a través de la construcción de obras que capten el agua, y también obras para que dicha agua se conduzca desde grandes distancias (150 km en el caso de la nueva captación que se pretende utilizar al sur este de la ciudad de Hermosillo).

Esta alternativa de solución, lleva consigo el trasvase por medio de un nuevo acueducto desde la cuenca del Río Yaqui a la zona urbana de estudio situada en la cuenca del Río Sonora.

PLATAFORMA SOCIAL EN LA GESTIÓN DEL AGUA URBANA – UN NUEVO PARADIGMA

Los sistemas urbanos tienen una gran cantidad de complejidad en el sentido de la palabra que se usa en la ciencia de sistemas complejos. Esta complejidad se debe a una serie de cuestiones: el comportamiento de uso del agua, el uso de múltiples fuentes de agua para diferentes propósitos, las fuentes puntuales de la contaminación debido a la conducta del uso del suelo, los flujos y las fugas de agua a través de un complicado sistema técnico, el suministro de agua que depende de los patrones del clima un poco al azar y la complicada dinámica hidrológica, así como la dependencia de la asignación de los horarios de bombeo y distribución (10).

La gestión del agua se ha caracterizado tradicionalmente por un paradigma de control que ahora está cambiando poco a poco. Este cambio se debe en gran parte a la necesidad de poner en práctica la gestión integrada de los recursos hídricos y la idea de que la gestión del agua se enfrenta a la creciente incertidumbre del cambio de clima y el cambio rápido de las condiciones de entorno socio-económico (9).

El Modelado Basado en Agentes (ABMs) es adecuado, particularmente para analizar cuantitativamente los sistemas complejos que incluyen entidades autónomas que tiene cada una un comportamiento dinámico y heterogéneo, con características de adaptación en la toma de decisiones como es el caso de los

usuarios del agua en una ciudad pero que tales modelos necesitan una base empírica sólida, calibración y validación (10).

CONTEXTO, ÁMBITO Y ENFOQUE METODOLÓGICO DE ESTUDIO

1. Contexto y ámbito

Las condiciones climáticas también tienen una gran influencia en el volumen de consumo de agua. Las demandas de los suministros de agua y el propósito del servicio continúan creciendo en todo el mundo. El incremento actual de la población en los países en desarrollo ha dado lugar a una creciente necesidad de la provisión de agua segura y adecuada y del saneamiento, e imponen una gran demanda del agua para futuros proyectos de desarrollo y de gestión (11).

El caso de Hermosillo ilustra un fenómeno más amplio que ocurre en México y en los países en vías de desarrollo, en donde el rápido crecimiento demográfico está ocurriendo en regiones áridas (12).



Figura2. Localización del sitio de estudio y área urbana de Hermosillo al año 2005. Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

Se considera que aproximadamente en 95% del territorio sonorenses los climas son muy secos, secos y semisecos; los cuales se caracterizan por su alta temperatura y escasa precipitación. Por su parte, la influencia altitudinal de la Sierra Madre Occidental, ubicada en el oriente de la entidad colindante con Chihuahua, se registran temperaturas menos cálidas, con precipitaciones más abundantes respecto a las muy secas, secas y semisecas registradas en Hermosillo (7).

La ausencia de precipitaciones significativas en la cuenca del Río Sonora, ha afectado de manera importante las fuentes de captación de agua vigentes para la ciudad de Hermosillo, así como a los acuíferos influenciados por tal situación. Antes del año 1996, la Cuenca del Río Sonora había experimentado más de una década de caudales de aproximadamente el 45% por encima del promedio (Fig. 3).

Para controlar estos caudales por encima del promedio fue construida en 1991 la presa El Molinito. Sin embargo, desde 1996 a 2005, la cuenca del río Sonora registró caudales que fueron aproximadamente 42% por debajo de la media, y por lo tanto, las fuentes de agua de la ciudad disminuyeron drásticamente (12). Dicha presa se localiza casi 25 km aguas arriba de la presa ALR, y capta prácticamente el “volumen de agua escurrido por eventos extraordinarios” que ocurren en la cuenca.

El problema crítico en el abasto de agua a la ciudad se origina partir de 1997, cuando la presa Abelardo L. Rodríguez dejó de operar por tener nulo almacenamiento; sumándose el efecto del incremento progresivo de la población urbana, como se señaló previamente.

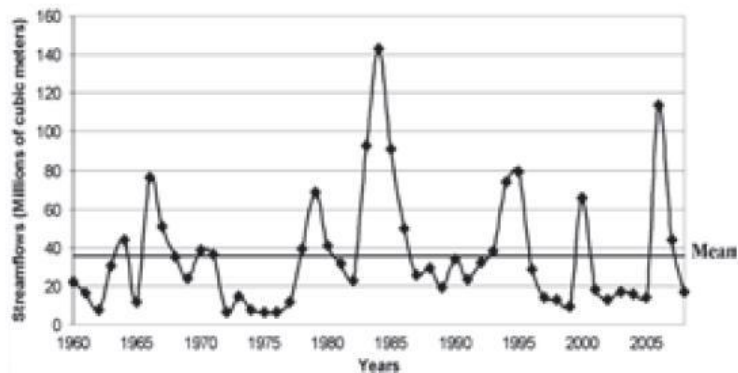


Figura 3. Escurrimientos del Río Sonora. Fuente: adoptado de (12).

2. Enfoque metodológico

Recientemente, Magnus Moglia (10) ha desarrollado un método que señala como Modelo Basado en Agentes (ABM) el cual busca mejorar la gobernanza del agua. En su aportación lo expone aplicado a un caso de estudio. Mismo que en éste trabajo presento sólo un resumen. Considera fundamental el desarrollo de una serie de entrevistas etnográficas iterativas para generar conocimiento e información de la zona de estudio con informantes clave, además de la revisión histórica, y estudios científicos existentes. Otra etapa del modelo considera el intercambio de información por las partes interesadas (usuarios del agua urbana, autoridades responsables de la gestión del agua, y en general el sector social). La intervención de las partes interesadas facilita la interacción entre sectores y la problemática, derivándose de ello no tan sólo puntos de vista del sistema, sino

también las complejidades, presiones del mismo, su entendimiento y comprensión. Las complejas interacciones tienen que ver con los patrones del uso del agua, impactos en la salud, las fuentes de agua, la posible contaminación de esas fuentes, las diversas tecnologías, así como la validación de los resultados de la modelación realizada en la investigación.

No obstante lo anterior, la intervención e interacción de las partes interesadas requiere que sea en un marco estricto de normas o reglas de operación. En esto V.S. Saravanan (8) describe en un diagrama de interacción la serie de normas o reglas. Resumiendo tal señalamiento: Reglas de frontera para los participantes, reglas de autoridad para autoridades, reglas de información, reglas de agregación, reglas de gobierno, reglas de activar y desactivar y de posición.

Por otra parte, Pahl-Wostl (13) señala que la gestión adaptativa se define aquí como un proceso para mejorar las políticas y prácticas de gestión mediante el aprendizaje sistemático de los resultados de las estrategias de gestión aplicadas, y teniendo en cuenta de manera proactiva los cambios en los factores externos. Pone de relieve también que uno de los objetivos de la gestión adaptante es aumentar la capacidad de adaptación del régimen de gestión en general.

La capacidad para aplicar la gestión adaptante y tener en cuenta nuevos conocimientos depende de un número de características estructurales de un régimen. El cuadro 1 señala algunos de los requisitos estructurales que se asumen necesarios para que un sistema sea adaptante.

Cuadro 1. Caracterizaciones ideales típicas de una predicción y régimen de control y de la gestión del agua integrada y de adaptación. Fuente: adoptado de (13).

EVENTO	PREDICCIÓN REGIMEN CONTROL	Y DE INTEGRADO ADAPTATIVO	Y Y
Paradigma de gestión	Enfoque del control-meta orientada, estrategias óptimas	Enfoque de la evolución, procesos orientados, estrategias robustas	
Estructura de gobernanza	Cuantificación de riesgos, reducción de incertidumbres centralizadas, jerárquico, estrecha participación de los interesados	Dialogo de riesgos, aceptar y vivir con incertidumbres policéntricas, participación horizontal amplia de las partes interesadas	
Integración sectorial	Sectores analizados por separado dando	Análisis intersectorial anticipa problemas	

	lugar a conflictos políticos y problemas crónicos	emergentes, resuelve los conflictos y coordina la implementación de políticas
Escala de análisis y de operación	Los problemas transfronterizos surgen cuando las sub-cuencas del río son la escala exclusiva de análisis y gestión	Abordar cuestiones transfronterizas, considerando múltiples escalas de análisis y gestión
Gestión de la información	Entendimiento fragmentado por las lagunas y falta de integración de las fuentes de información que son propiedad	Acuerdos Integrales logrados por las fuentes de información abiertas, compartidas que cubren lagunas y facilitan la integración
Infraestructura	Infraestructura masiva y centralizada, fuentes individuales de diseño, entrega de energía	Escala adecuada, fuentes descentralizadas de diverso diseño
Finanzas y riesgo	Los recursos financieros se concentran en la protección estructural (los costos hundidos)	Recursos financieros diversificados con un amplio conjunto de instrumentos financieros públicos y privados

El modelo (ABM) exige también, que la información crítica evaluada en las etapas anteriores se identifique los elementos críticos del sistema. Estos elementos se describen posteriormente en clases conceptuales a través de: Lenguaje Unificado de Modelado (UML), para posteriormente desarrollar el modelo integral de simulación. Los diagramas del UML se utilizan para facilitar el diseño conceptual del modelo y para crear un puente de conexión con las partes interesadas facilitándose así la etapa de validación del sistema iterativo de acuerdo con los principios de participación. La serie de diagramas se identifica como diagrama de clases, toma en cuenta las interacciones que se describen en los elementos que conforman el sistema de abastecimiento de agua con sus respectivos atributos; considerando por ejemplo, rubros como: infraestructura de la red del sistema urbano, acuíferos y pozos de las captaciones, propietarios, usos del suelo, clientes, grupos de clientes, preferencia del uso del agua, reservas, el

clima con su atributo de predominio en situaciones pesimistas y optimistas, y el organismo operador de agua de la ciudad con los atributos de tarifas, bombeos, ventas, mantenimiento de infraestructura, entre otros. Finalmente, el análisis y simplificación de los elementos anteriores permite que se elabore el esquema general del modelo integral a través del balance de agua que considerará todos los flujos de agua en el sistema para diferentes escenarios (10).

CONCLUSIONES

En la zona de estudio se ha promovido e impulsado por décadas el paradigma de favorecer la oferta del agua, con resultados que han conducido a la explotación de nuevas y distantes fuentes de agua; inyectar más agua al suministro. Con la probable consecuencia de que con ello se incremente el consumo de agua percapita en los hogares. Las condiciones del clima en la zona desértica de estudio, han dejado ver su gran influencia al existir una ausencia de lluvias importantes por casi una década de modo que ha afectado a las fuentes de agua superficial y subterránea. Esto en conjunto con la evolución de la población, sus hábitos de consumo, la falta de recursos económicos, las intervenciones y participación política de la sociedad y de los entes gubernamentales, ha agudizado más el problema.

El presente trabajo ha permitido incursionar -como una aproximación- en la aplicación de los Sistemas Emergentes en la gestión del agua urbana. Existe evidencia por parte de la comunidad académica y científica de que las teorías desarrolladas en torno a este nuevo paradigma son aplicables a esta temática del recurso hídrico, y permiten involucrar un nuevo paradigma de participación social con participación de las partes interesadas y con un manejo integral en la gestión del agua.

Así entonces, una forma de atender la situación que prevalece, es considerar el sistema como un CAS, lo cual implica identificar todas las variables posibles; en principio debe reconocerse que es una nueva forma con un nuevo modelo de abordaje, que exige involucramiento de: usuarios, entidades responsables de la operación del sistema de suministro, sector empresarial, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. Por otro lado, debe considerarse: el conocimiento y la opinión de todas las partes interesadas, reconocer la situación hídrica real tomando en consideración la evolución de la población (su estructura por edad y género), las dinámicas de migración, condiciones climáticas de la zona con escenarios pesimistas y optimistas, la situación de las tarifas y su evolución, las condiciones físicas e hidráulicas de la red de distribución del agua, las fuentes de agua y su conducción, preferencias de los usuarios en el hogar (patrones de uso del agua), y demás infraestructura y elementos que afecten. Esto apoyado en una etnografía de la ciudad –del sistema- y entrevistas. Además de analizar cada uno de los componentes del sistema con sus atributos, a fin de estudiar de manera

integral el problema. En suma, abordar el sistema como un CAS exige considerar aspectos tangibles del medio ambiente, físicos, sociales, económicos y políticos. La implementación de un nuevo modelo siempre debe verse como una oportunidad.

Sin embargo, es común en este país, que este tipo de intervenciones por ser un nuevo modelo de participación, al momento de abordarlo en la práctica es casi seguro que encuentre barreras u oposición. Una causa es porque implica y exige abordar el sistema sin tener la presión de falta de información y tiempo; pero sobretodo implica una real transparencia en las acciones y en los datos, así como un análisis profundo de cada uno de los elementos que intervienen. La escasez del agua potable para las zonas urbanas y rurales de cualquier parte del mundo, exige también la comprensión y participación muy decidida de las autoridades de gobierno que encabezan la toma de decisiones. Aplicar un nuevo paradigma de participación social requiere pues, la sensibilidad de todos los que estamos expuestos al problema y a los efectos evidentes del cambio climático; esto es un gran desafío en la gestión del agua, pero también es un gran desafío la implementación de políticas de gobierno y la toma de decisiones en la ruta de la participación. Debe incursionarse por lo tanto en una nueva gobernanza como una oportunidad de abrir la participación social en una esfera propositiva y objetiva para la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Segura Mojica, Francisco Javier. 2009. ¿Puede gestionarse la complejidad de los problemas sociales? Aportaciones de la teoría de la complejidad a la formulación de políticas públicas.
Rev Nómadas. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/181/18111418015.pdf>
- 2) Steven Johnson, (2001). Sistemas emergentes: o que tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software. Fondo de la Cultura Económica, para América Latina. ISBN FCE:968-16-7074-4.
- 3) Gerald G. Marten, (2001). Ecología Humana: Conceptos básicos para el desarrollo sustentable. Capítulo 4. Los Ecosistemas y los Sistemas Sociales como sistemas Complejos Adaptativos. Ed. Earthscan.
- 4) Walter Ritter O., Sergio Guzmán R., Norma Sánchez Santillán., Juan Suarez S., Carmen Corona V., Hipólito Muñoz N., Alfredo Ramos V., Rogelio Rodríguez M. y Tahimi E. Pérez E., (2002). El clima como sistema complejo adaptativo en coevolución. Ciencia y Mar .23-35.
- 5) Luis R. Izquierdo, José M. Galán, José I. Santos y Ricardo del Olmo,(2008).Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. EMPIRIA. Revista de Metodología de Ciencias Sociales. No 16, pp. 85-112.
- 6) Wompner G., F.H, (2008). La teoría del caos en la economía en Contribuciones a la Economía. <http://www.eumed.net/ce/2008b/>
- 7) INEGI, (2000). Síntesis de información geográfica del estado de Sonora.
- 8) V.S. Saravanan, (2008). A systems approach to unravel complex water managementInstitutions.Ecological complexity. 5, pp 202 – 215.

- 9) C. Pahl-Wost, (2007). The implications of complexity for integrated resources management. *Environmental Modelling and Software*. 22, pp. 561-569.
- 10) Magnus Moglia, Pascal Perez, Stewart Burn, (2010). Modelling an urban water system on the edge of chaos. *Environmental Modelling & Software*. 25, pp. 1528 – 1538.
- 11) K.H.V. DurgaRao, (2005). Multi-criteria spatial decision analysis for forecasting urban water requirements: a case study of Dehradun city, India. *Landscape and Urban Planning*. 71, pp. 163–174.
- 12) Rolando E. Díaz-Caravantes, Erick Sánchez-Flores, (2011). Water transfer effects on peri-urban land use/land cover: A case study in a semi-arid region of Mexico. *Applied Geography*. 31, pp. 413-425
- 13) Claudia Pahl-Wostl, Georg Holtz, Britta Kastens, Christian Knieper, (2010). Analyzing complex water governance regimes: The Management and Transition Framework. *Environmental Science & Policy*. Article in press.
- 14) Colegio de Sonora (COLSON). Banco Regional de Consulta. Unidad de datos demográficos: www.colson.edu.mx.
- 15) Organismo Operador Agua de Hermosillo. www.aguadehermosillo.gob.mx