

Ciudad, agua y cambio climático: una aproximación desde el metabolismo urbano

Introducción

El consumo de energía y materiales por parte de la humanidad se ha incrementado en relación directa al tipo de relaciones productivas y al estado de sofisticación de los medios de producción. Se estima para las sociedades cazadoras-recolectoras un uso promedio per cápita de energía de 10-20 Gj/año y de media tonelada de materiales; para las sociedades agrarias avanzadas de Europa del siglo XVIII unos 40-70 Gj/año/per cápita y de 3 a 6 ton/año/per cápita de materiales; y para las típicas sociedades industrializadas contemporáneas de principios del siglo XXI, entre 150-400 Gj/año/per cápita y 15-25 toneladas de materiales al año per cápita (Haberl et al, 2011: 3).

El claro aumento de los patrones metabólicos del ser humano se ha dado además de manera cada vez más intensa, es decir, se han ampliado y acelerado en relación directa con el tamaño de la economía y el ritmo de acumulación de capital; ello sobre todo desde la segunda mitad del siglo XX, momento a partir del cual se disparó como nunca antes el consumo de energía y materiales (Krausmann *et al*, 2009).

*. Investigador titular, de tiempo completo, definitivo, del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México. Autor líder del Capítulo 12 del Quinto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Ganó el Reconocimiento Distinción Universidad Nacional a Jóvenes Investigadores 2011 en investigación en Ciencias Sociales. Contacto: giandelgado@unam.mx

Dicha tendencia ha impactado de manera cada vez más evidente -y en cierto grado de modo irreversible- las fronteras ecológicas planetarias (Rockström *et al*, 2009), siendo el cambio climático antropogénico uno de los efectos tal vez más distintivos al perfilarse como un fenómeno “inequívoco”: producto del incremento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, del forzamiento radiativo positivo, el calentamiento observado, la retroalimentación climática y el almacenamiento de la energía en el sistema climático (IPCC, 2013)¹.

Se constata así un aumento en la temperatura promedio global de la atmósfera, del océano y la superficie terrestre (de 0.5°C a 1.3°C durante el periodo 1951-2010; IPCC, 2013), cambios en el ciclo del agua, reducciones de hielo y nieve, modificaciones en la intensidad y frecuencia de eventos extremos, etcétera (Ibíd).

En lo que a emisiones GEI se refiere, cabe subrayar que estamos en niveles sin precedentes en al menos 800,000 años (IPCC, 2013). La Figura 1 muestra el aporte sectorial de GEI a nivel mundial. El CO₂, que se mantuvo constante

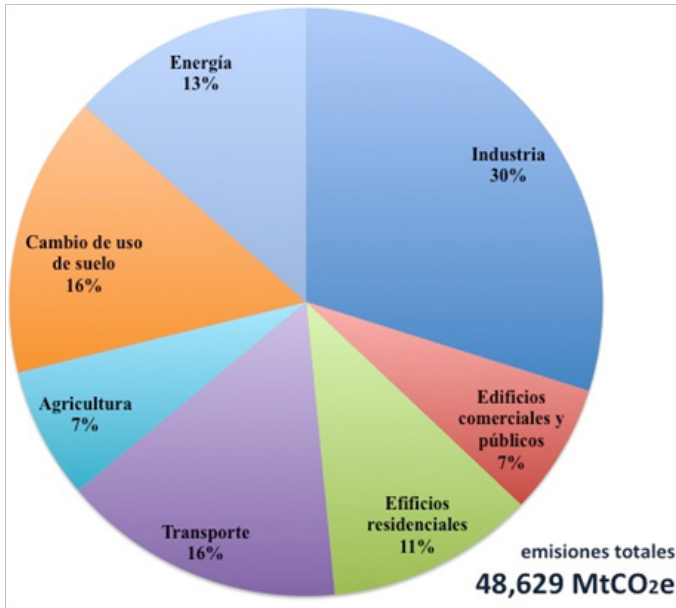
en los últimos 10 mil años en una concentración de unas 280 partes por millón (ppm), pasó en 1998 a concentraciones de 360 ppm, en 2006 a 383 ppm, y para principios de 2014 hasta 398 ppm (www.co2now.org).

El incremento acumulado es de 40%, alcanzándose ya una concentración riesgosa dado que se trata de un nivel muy por arriba de la *frontera ecológica* planetaria para el ciclo del carbono propuesta en 350 ppm (Rockström *et al*, 2009). Por tanto, de aumentar más tal concentración, es de esperarse una amplitud de cambios multivariados e irreversibles.² No es casual entonces que debido a la magnitud de las implicaciones generadas por el ser humano se considere que estamos pasando de la época geológica del Holoceno a la denominada era del Antropoceno³ (Crutzen y Stoermer, 2000; Crutzen, 2002; Zalasiewicz *et al*, 2010; Steffen *et al*, 2011).

Ahora bien, la actual situación es producto de una contribución desigual en las emisiones de GEI pues sólo alrededor del 20% de la población mundial -la más acaudalada- ha generado el 90% de éstos en términos históricos (Godrej, 2001: 95). Las desigualdades son tam-

1. El aporte de cada gas de efecto invernadero al forzamiento radiativo se determina por el cambio en su concentración atmosférica durante un determinado período de tiempo y la efectividad del gas para modificar el equilibrio radiativo. La mejor estimación del forzamiento radiativo antropogénico total de 2011 es un 43% superior al previsto en el AR4 para el año 2005. Esto es debido a una combinación del crecimiento continuo en la mayoría de las concentraciones de gases de efecto invernadero y a estimaciones más precisas del forzamiento radiativo por aerosoles, que indican un efecto de enfriamiento neto más débil. El forzamiento radiativo antropogénico total a 2011, en relación con 1750, es de 2.29 [entre 1.13 y 3.33] W m⁻² (IPCC, 2013).
2. Así lo califica, por ejemplo, James Hansen del Instituto Goddard para el estudio del Espacio de la NASA (EUA). Una concentración por arriba de las 450 ppm se estima comenzaría a generar consecuencias irreversibles e impredecibles.
3. Término acuñado por Eugene F. Stoermer (Crutzen y Stoermer, 2000) y popularizado posteriormente por Paul Crutzen (Crutzen, 2002).

Figura 1. Contribución sectorial en la emisión - global de GEI - 2010



Fuente: www.ecofys.com/en/news/updated-information-on-the-worlds-greenhouse-gas-emissions

bién patentes en términos del consumo actual de energía y por tanto de emisiones. Por ejemplo, los países de la OCDE contribuyen al día de hoy con el 43.8% del consumo energético mundial mientras que, América Latina sólo anota el 5.2%, Asia (excepto China) el 11.6% y África el 5.7% (IEA, 2010)⁴. Nótese además que mientras los países de la OECD tienen una población de unos 950 millones de habitantes, las regiones señaladas cuentan con 4.2 mil millones de habitantes (sin considerar a China).

Las disparidades no sólo son evidentes a nivel regional o de países, sino también de asentamientos humanos cuyo crecimiento ha sido inusitado desde la segunda mitad del siglo XX: en 1900 la población urbana era sólo el 13% de la población total mundial, en 1950 llegaba al 29% y hoy ronda el 52% (Naciones Unidas, 2011)⁵.

Las ciudades del mundo consumen 2/3 partes de la energía mundial y son responsables de la emisión de 4/5 partes de

4. Por ejemplo, entre los mayores importadores de petróleo, según datos de 2008 están EUA, Japón, China, India, Corea, Alemania, Italia, Francia, España y Holanda. Mientras que los mayores exportadores para ese mismo año son Arabia Saudita, Rusia, Irán, Emiratos Árabes Unidos, Nigeria, Angola, Noruega, Kuwait, Irak y Venezuela (IEA, 2010). De notarse es que en este panorama, sean los países de OCDE los que concentren el 53.2% de la capacidad de refinación de petróleo (Ibid).

5. Debido a los movimientos migratorios y al crecimiento poblacional, cada día se añaden 185 mil habitantes a la población urbana.

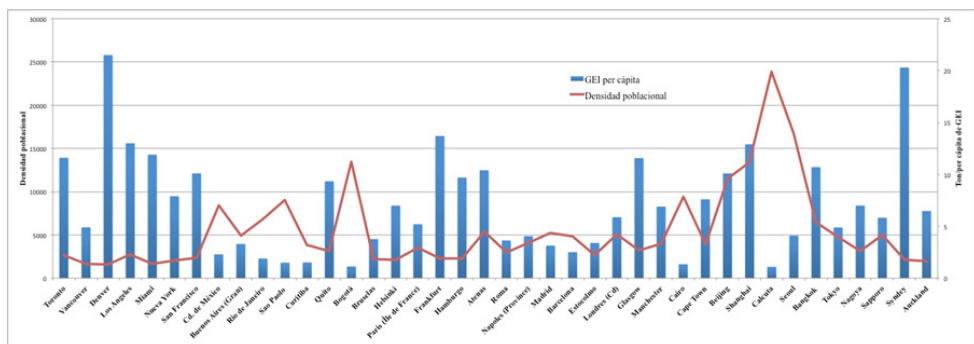
los GEI (Newman *et al*, 2009: 4; UN-HABITAT, 2011: 9)⁶, no obstante, tan sólo las 380 ciudades más relevantes de los países desarrollados son responsables de alrededor del 60% del PIB mundial (McKinsey Global Institute, 2013), lo que las coloca prácticamente como los mayores centros consumidores del planeta. Lo dicho se corrobora al notar que aunque los asentamientos urbanos crecen en promedio a un ritmo del 2% anual, teniendo como puntos extremos un 0.7% para algunos países metropolitanos y 3% para algunas zonas periféricas (Ibíd), tal crecimiento no es proporcional al monto de emisiones atribuibles a cada caso. De hecho, hoy día se observan concentraciones urbanas similares (en tanto a su densidad o al número de habitantes por km²) con muy distintas

aportaciones de GEI; tanto históricas como nominales (véase Figura 2). Y si bien, por un lado tal divergencia responde parcialmente a diversos factores como los usos del suelo, la forma y extensión del asentamiento, su tiempo de existencia o a las condiciones biofísicas de cada caso (e.g. latitud, cercanía y disponibilidad de recursos), por otro lado, no deja de ser significativa la polarización existente entre una ciudad y otra, y entre uno y otro habitante, en términos de patrones de consumo energético-materiales.

Urbanización y consumo de energía y materiales

Proyecciones para el 2050 indican que la población urbana podría ubicarse entre

Figura 2. Emisiones per cápita de GEI versus densidad poblacional en ciudades seleccionadas



Fuente: elaboración propia con datos de los planes de acción en cambio climático de las ciudades y bases de datos de Hábitat y Banco Mundial.

6. Existe un debate sobre los datos pues según Satterthwaite (2009), las ciudades emiten directamente solo el 35% de los gases de efecto invernadero. No obstante, el dato que estima un 80% no es descabellado si se asume una contabilidad de los costos ambientales resultantes de la entrada y salida de materiales y energía de las ciudades como un todo. Así, números ofrecidos por UN-HABITAT (2011) sostienen que en 2006 las ciudades consumieron el 67% de la energía y emitieron el 71% del CO₂ y entre el 40 – 70% de las emisiones totales de GEI a nivel mundial. Proyecciones de ese mismo organismo para el 2030 indican porcentajes del 73%, 76% y 43 – 70% respectivamente (Ibíd).

el 64% y 69% de la población total mundial (Naciones Unidas, 2011), momento en el que la extensión de la capa urbana se duplicaría o hasta triplicaría, dependiendo de las dinámicas poblacionales y económicas (Angel *et al*, 2011). La urbanización será en tal escenario más intensa en regiones que aún no han experimentado tasas importantes de urbanización y que al mismo tiempo prometen al menos un relativo crecimiento económico futuro (Naciones Unidas, 2011). Esto es, en Asia países como China e India esencialmente, pero también ciertas regiones de África que se colocan en esta dinámica pues al día de hoy tales continentes registran en promedio un 45% y 40% de población total urbanizada, respectivamente (Naciones Unidas, 2011).

No es menor precisar que tal proceso de urbanización ha sido histórica y geográficamente desigual pues el grueso de asentamientos irregulares, que suman el 32% de la población mundial urbana, están en los países pobres (Davis, 2006). En promedio el 43% de la población urbana de los países en desarrollo vive en dichos espacios, pero casos como el Chad, Etiopía o Afganistán, entre otros, rondan el 98% - 99.4%; en contraste, en los países ricos, los barrios pobres cubren en promedio tan sólo el

6% de sus espacios urbanos (Ibíd)⁷. En todo caso, como ya se dijo, hoy día el mundo es mayoritariamente urbano, siendo AL la única región del mundo en desarrollo con índices que promedian 78% de población urbana y tasas de crecimiento de 1.8% anual (UN-HABITAT, 2009). El porcentaje de población que viven en zonas de alta marginación es del 27% en promedio (Ibíd), aunque es variable pues se estima en el orden del 19.6% México; en 36.6% en Brasil; 33.1% en Argentina; o 68% en Perú, por dar algunos ejemplos (Davis, 2006).

Las ciudades latinoamericanas son pues íconos representativos de inmensos y típicos (des)ordenamientos territoriales cuyos patrones de expansión han sido acelerados. Muchas ciudades capitales se expandieron rápidamente durante la segunda mitad del siglo XX, sobre todo como resultado de la migración rural y la alta concentración de actividades económicas. Por ejemplo, la Ciudad de México⁸ duplicó su tamaño, en términos de superficie, de 1950 a 1970 y, más que lo triplicó para el 2000; sólo de 1980 al 2000, el ritmo de tal crecimiento fue del orden del 37%, momento en que, sin embargo, la ciudad de Santiago, Chile, ya lo hacía a un ritmo del 67% (UN-HABITAT, 2009).

-
7. El proceso de ampliación de las zonas urbanas de alta marginación se acentuó a partir de la década de 1990 cuando se registró un aumento de 36% de la población ahí emplazada, misma que, de seguir la actual tendencia, se duplicará para el 2040 (Davis, 2006).
8. La expansión del sistema urbano en México verifica tres etapas: la primera de 1900 a 1940 fue predominantemente rural; la segunda de 1940 a 1980 de intensa expansión, sobre todo entorno a las zonas metropolitanas del Valle de México (incluyendo Puebla y Toluca), Guadalajara y Monterrey, y en menor medida en León, Torreón, y Ciudad Juárez; y la tercera de 1980 a la fecha de evolución baja-moderada y con un repunte en ciudades medias, proceso en el que ciudades como Puebla, Querétaro, Pachuca, Tlaxcala, San Juan del Río y Toluca crecen en íntima vinculación a la desbordante zona metropolitana del Valle del México y a la actividad manufacturera que es relativamente expulsada de ésta (Garza, 2002).

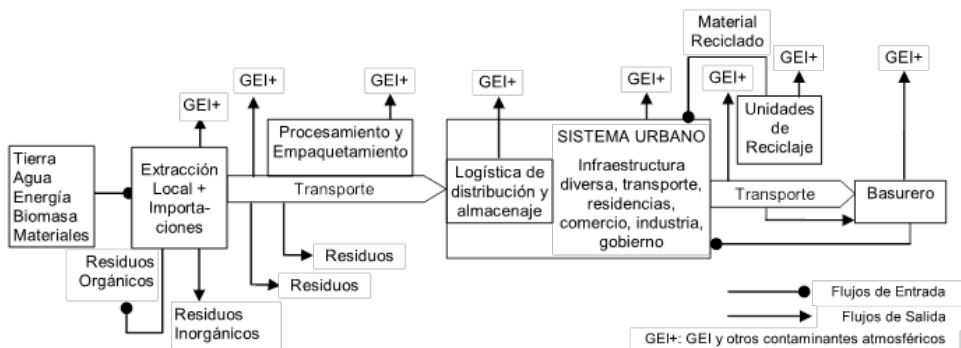
Por tanto, puede sostenerse que la falta de una adecuada planeación del uso del suelo, una insuficiente y/o mala inversión pública, los altos índices de motorización, las asimetrías económicas de la población, entre otras cuestiones, han generado y aún generan una urbanización desorganizada, compleja, insostenible y ciertamente desigual.

En lo que respecta al carácter insustentable de los asentamientos urbanos, cabe precisar su dimensión metabólica en términos de consumo de materiales y energía. Para tal propósito, los espacios urbanos se analizan como sistemas abiertos a flujos de materiales y energía; esto es que toman energía y materiales fuera del sistema (urbano) y que desechan energía disipada y materiales degradados (Figura 3). Se trata de un proceso entrópico que es visible con el deterioro de la infraestructura urbana, fenómeno que se acelera conforme se extiende la capa urbana, pero también a

causa de la existencia de infraestructura no apta frente a los efectos del cambio climático; todo en un contexto en el que además los flujos se retroalimentan en el tiempo y en el espacio, complejizando y a veces hasta imposibilitando, por diversos factores, los mecanismos de obtención de materiales y energía y de expulsión de desechos.

Es clave notar que la ciudad, o lo que Mumford (1961) calificó como “segunda naturaleza”, se caracteriza por tener una tasa metabólica muy intensa por unidad de área pues demanda crecientes flujos de energía y genera fuertes flujos de desechos. No se trata de un ecosistema, advierte el autor, sino de una forma específica de asociación-interacción de buena parte de la humanidad, misma que es sólo posible a partir de la subordinación de espacios-territoriales más allá de la periferia urbana. Lo dicho es relevante desde el punto de vista de la magnitud de los mencionados flujos -o del meta-

Figura 3. Diagrama de flujos de materiales y de energía de los sistemas urbanos.



bolismo urbano- necesarios para sostener las ciudades en creciente expansión.

El trabajo de Wolman es reconocido como pionero en términos empíricos pues analiza los flujos de entrada y salida de energía y materiales de una ciudad hipotética de EUA de un millón de habitantes, advirtiendo correctamente la complejidad y variabilidad de éstos. Wolman identificó tres flujos clave de entrada (agua, alimentos y combustible) y tres de salida (aguas residuales, residuos sólidos y contaminantes atmosféricos).⁹ Lo más relevante de su trabajo, desde el punto de vista del presente trabajo, es que claramente identifica el flujo de entrada y salida de agua como el de mayores dimensiones, además de ser un flujo “silencioso e invisible” (Wolman, 1965). En tal sentido, la planificación de la infraestructura hídrica urbana no es cosa menor, ni desde la perspectiva de la disponibilidad de agua, ni desde la ambiental y climática (véase más adelante).

Diversos análisis metabólicos han sido realizados posteriormente, cubriendo sobre todo casos de ciudades de países desarrollados y enfocándose en varios o ciertos flujos metabólicos (agua, alimentos, energía, etcétera). La contribución de Baccini y Bruner (1990 y 2012) como precursores teórico-metodológicos y, más adelante de otros como Kennedy *et al* (2007, 2009 y 2011) y Minx

et al (2010) son destacables pues permiten tener una visión amplia e integrada de la evolución de los estudios sobre metabolismo urbano. En especial el trabajo de Kennedy *et al* de 2011 es referencia obligada en tanto que ofrece un meta-análisis de las publicaciones en el área. Por su parte, Zhang (2013) ofrece una revisión de la evolución y grado de complejidad que caracterizan a las metodologías empleadas en los principales análisis de metabolismo urbano presentes en la literatura.

En América Latina ha sido analizado con detalle el caso de Bogotá (Díaz-Álvarez, 2011) mientras que una primera valoración comparativa se ha realizado para el caso de las megaciudades y ciertas ciudades capitales de la región (Delgado *et al*, 2012 y Delgado, 2013).

Derivado de tales análisis sobre las megaciudades de AL, vale precisar que si se considera la población como único criterio, las zonas metropolitanas de Buenos Aires y Rio de Janeiro deberían ser metabólicamente hablando similares, mientras que lo mismo aplicaría para la ZMVM y Sao Paulo. Desde luego, y como ya se dijo, las condiciones biofísicas, el tipo de uso de suelo y otras características -incluyendo aquellas de tipo cultural-, producen variaciones importantes (véase Cuadro 1), no obstante en todos los casos se corrobora un au-

9. La ciudad hipotética de Wolman consumía 625 mil toneladas diarias de agua y generaba 500 mil toneladas diarias de aguas residuales. Asimismo, el consumo de combustible era de unas 9,500 toneladas diarias y el de alimentos de unas 2 mil toneladas al día (Wolman, 1965).

mento del metabolismo urbano. El caso de la Ciudad de México en materia de energía es revelador en tanto que pasó de un consumo de unos 443 Pj de energía en 1990 a 545 Pj en 2006. Datos de 2010 precisan 527 Pj de consumo energético fósil y 179 Pj de energía eléctrica producida fuera de la ciudad (que no era contemplada en la medición de 2006) (SMA-DF, 2012).

mismo diseño de tales o cuales infraestructuras (o del *stock* urbano), ello por medio de incentivos o inclusive restricciones o medidas coercitivas. El reto es encontrar mejores formas de organización y modalidades más eficientes e integradas de asentamientos humanos de tal suerte que se tienda a minimizar su metabolismo biofísico, tanto en términos per cápita, como totales; ello desde

Cuadro 1. Patrones de flujos metabólicos de algunas ciudades latinoamericanas.

Ciudad	Población (millones de habitantes)	Densidad Poblacional (habitantes por km ²)	Energía (Pj, total)	Agua Potable (litros per cápita/día)		Alimentos (per cápita/día)		Emisiones sectoriales directas (kg de CO ₂ e Per cápita/día)	Aguas residuales (litros per cápita/día)	Residuos Sólidos (kg per cápita/día)
				Flujo total de entrada	Consumo real estimado	Peso (kg)	GEI de carne, leche y huevos (kg de CO ₂ e)			
Ciudad de México	8.85 (22*)	6,020 (2,845*)	706*	327	220	2.01*	1.98*	6.8*	~390 ▲	1.4
Sao Paulo	11.31 (20*)	7,492 (2,492*)	~277.8 ♥	290	186.8 191	1.99	2.91	4.1	120	0.93
Rio de Janeiro	6.35 (11*)	5,250 (1,948*)	~161 ♥	472	237.8 226	1.99	2.91	1.9	170	0.98
Buenos Aires	3 (12*)	14,778 (3,130*)	337.8	535*	370*	2.06	4.31	9.04	500*	1.66
Quito	1.6 (2.2*)	4,545 (527*)	~50.1* ♥	271*	189*	1.41	1.76	~13 (25.7*)	---	0.73
Bogotá D. C.	7.3 (9.85*)	4,599 (5,687*)	228.7	428	171	1.82	1.99	5.17	192	0.76

* Estimación a escala metropolitana
 ♥ Estimación optimista.
 ▲ Incluye fugas de agua, agua de lluvia y otras fuentes irregulares.

Fuente: elaboración propia con base en Delgado, 2013.

La cuestión del creciente metabolismo urbano es central, contexto en el que el análisis del estado de situación actual y de su proyección futura nos permite modelar rutas más o menos eficientes en el uso de los recursos y en la generación de residuos y así enfocar esfuerzos, ello por ejemplo, por medio de la planificación de los procesos metabólicos desde el

luego incluye la imperante necesidad de reducir las emisiones de GEI.

Derivado de un análisis preliminar sobre el metabolismo urbano de las ciudades latinoamericanas sintetizado en el Cuadro 1, puede afirmarse que las megaciudades latinoamericanas enfrentan grandes retos asociados a la obtención de

energía, sobre todo de aquella destinada al transporte y, en un segundo plano, también para la generación de electricidad.

En el sector transporte los avances de mayor impacto tanto en el consumo energético como en la reducción de emisiones asociadas, tendrían que gestarse en el marco de un cambio de paradigma de la movilidad urbana, hacia uno más integrado, eficiente, de tipo masivo, pero también no motorizado y vinculado al uso mixto del suelo y a procesos de re-densificación (Delgado, 2012).

En lo que respecta a los flujos de entrada de agua, se observa una disponibilidad del líquido relativamente segura para las ciudades estudiadas con excepción de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) que ya se encuentra en un estado de alto estrés hídrico; sin embargo, la calidad del líquido sí es en diversos grados una variable que requerirá aún más atención tanto para la ZMVM, como el Gran Buenos Aires (Delgado *et al*, 2012). Todo esto en efecto conlleva a un uso energético importante por lo que las medidas deberán ser bien diseñadas, ahorrativas y eficientes, e idealmente haciendo uso de energía renovable. Por otro lado, si bien las aguas residuales son en su mayor parte tratadas en las dos megaciudades brasileñas estudiadas (al menos en un cierto grado), este no es el caso de Buenos Aires y la Ciudad de México, por lo que ahí se requiere implementar acciones crecientes en dicho rubro (Ibíd).

En el caso de la generación de residuos uno de los principales retos es la disminución de los patrones de consumo, no sólo porque se corrobora que mientras más grande es la población mayor es el valor de generación per cápita de residuos (INECC, 2012), sino también porque en términos climáticos la disminución del consumo de productos y por tanto de generación de residuos se convierten en la principal medida de mitigación esto es, en términos de residuos y emisiones evitadas. La Ciudad de México y Buenos Aires enfrentan tal vez el mayor reto al colocarse a la cabeza en la generación de residuos en términos per cápita. Por su parte, en la Ciudad de México y Sao Paulo, debido al gran volumen generado, la gestión de residuos debería aumentar el reciclaje e impulsar la composta y generación de biogás para la producción de energía eléctrica. Esto último una acción ciertamente desaprovechada para el caso de la Ciudad de México pero no así en el caso de Sao Paulo donde es una de las principales medidas de mitigación del plan de acción climática de la ciudad.

Otros indicadores de (in)sustentabilidad, en cierto sentido de menor complejidad aunque aún así útiles y por tanto que vale la pena mencionar, son la huella ecológica o la huella hídrica en tanto permiten también dar cuenta de las implicaciones del acelerado proceso de urbanización experimentado en las últimas décadas del siglo XX y lo que va del siglo XXI. Así, por un lado, la huella ecológica per-

mite advertir que para abastecerse y absorber sus emisiones, los asentamientos urbanos demandan una superficie territorial varias decenas de veces mayor a sus propias dimensiones, lo que implica que las ciudades se apropien de reservas ecológicas tanto nacionales como internacionales y que pueden o no ser compensadas a nivel de la HE* global con las reservas ecológicas nacionales, excepto en el caso de aquellas ciudades de países con *sobregiro ecológico* (cuando la huella ecológica sobrepasa la biocapacidad de los ecosistemas nacionales).

De modo similar, la huella hídrica precisa volúmenes crecientes de consumo directo e indirecto de agua -incluyendo aquella necesaria para asimilar la carga de contaminantes. El Cuadro 2 indica la huella ecológica del consumo y la biocapacidad disponible promedio en *hectáreas globales* (gha, por sus siglas en Inglés) de seis ciudades estudiadas.¹⁰ También precisa el promedio de sus huellas hídricas en sus tres dimensiones (azul, verde y gris).¹¹

Es de subrayarse que en el caso de la Ciudad de México, la única de la muestra hoy día con déficit ecológico, re-

gistraba en 1961 una huella ecológica de 8.7 millones de gha que, frente a su biocapacidad promedio disponible en ese año, se ubicaba en condición de superávit ecológico con 7.8 millones de gha. Una situación similar se registra con respecto a la (sobre) explotación de fuentes de agua, cuestión que se aborda con mayor detalle más adelante para el caso de la ZMVM en tanto caso único de la muestra con graves problemas y retos entorno a la disponibilidad, calidad y saneamiento del agua.

Agua, medio ambiente y cambio climático.

Del total del agua en el planeta, unos 1,400 millones de m³, sólo el 2.5% es agua dulce y no toda está disponible para el consumo humano pues de ese 2.5%, poco más de dos terceras partes o el 68%, está congelada en los glaciares. Así, sólo alrededor del 0.8% del total del agua del planeta es accesible para consumo humano, siendo en su gran mayoría agua subterránea y, en mucho menor medida, agua superficial; la desalación de agua es energética y económicamente muy costosa y, en todo caso, sólo viable en un cierto grado en algunas zonas costeras.

10. Las hectáreas globales es una unidad de medida común que permite estandarizar distintas superficies terrestres y marinas biológicamente productivas (de pesca, cultivos, pastizales, bosques, superficie construida, de captura de CO₂e) con la media de bioproductividad mundial para un año dado. La bioproductividad, o producción primaria, es la cantidad y velocidad en la que ocurre la producción de biomasa en un ecosistema durante un periodo de tiempo determinado.

11. La huella hídrica azul refiere al uso consuntivo del agua, incluyendo la que se evapora y que es incorporada al producto o servicio, así como la que no vuelve a la misma zona de flujo o en el mismo periodo temporal (dígase, época de lluvias y de secas). La huella hídrica verde es el agua de lluvia que usualmente se usa en la producción de alimentos. La huella hídrica gris es el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes con base en los estándares de calidad del agua ambiental existentes (léase: Mekonnen y Hoekstra, 2011).

* HE Huella Ecológica - nota de editor.

Cuadro 2. Huella ecológica del consumo y huella hídrica del consumo de algunas ciudades latinoamericanas

Ciudad	Huella ecológica (millones de gha - 2007)	Sobregiro o reserva ecológica (millones de gha - 2007)	Veces de superficie de la ciudad demandada en Gha - 2007 **	Huella hídrica (HH) – millones de m ³ /año (con base en el periodo 1996 - 2005)***			
				HH Azul	HH verde	HH gris	HH Total
Ciudad de México	26.5 (66*)	13.5 (33.7*)	180 (85*)	1,683 (4,184*)	13,285 (33,025*)	2,537 (6,307*)	17,505 (43,516*)
Sao Paulo	32.9 (58.2*)	68.6 (121.4*)	217 (72*)	796 (1,408*)	20,407 (36,087)	1,722 (3,045)	22,925 (40,540)
Río de Janeiro	18.4 (32*)	38.5 (66.7*)	152 (56*)	447 (774*)	11,457 (19,848*)	967 (1,675*)	12,871 (22,297*)
Buenos Aires	7.8 (31.2*)	14.7 (58.8*)	384 (81*)	329 (1,319*)	3,971 (15,881*)	521 (2,083*)	4,821 (19,283*)
Quito	3 (4.1*)	0.7 (0.9*)	85 (10*)	128 (175*)	1,691 (2,325*)	443 (610*)	2,262 (3,110*)
Bogotá D. C.	13.6 (18.4*)	15.4 (20.8*)	85 (106*)	487 (656*)	8,187 (11,046*)	1,363 (1,839*)	10,037 (13,543*)

* Estimación a escala metropolitana

** Número de veces de superficie territorial de la ciudad en cuestión que demanda su huella ecológica sin descontar la biocapacidad, ello en tanto que ésa superficie también se subordina en otros espacios territoriales a escala nacional.

*** La huella hídrica se mide por periodos temporales para ajustar desviaciones de datos, sobre todo de huella verde, derivados de periodos de secas o de lluvias abundantes.

Nota: Se considera la biocapacidad per cápita disponible a escala nacional sin considerar la biocapacidad del propio asentamiento urbano que tiende por lo general a ser negativa si se considera la pérdida de suelo de uso de cultivo por el emplazamiento de infraestructura (que es como se considera metodológicamente en el cálculo de la huella). Lo dicho se debe a que el suelo de conservación y zonas verdes siempre tienden a ser la menor parte del territorio de las ciudades y porque su bioproductividad es siempre menor que la de suelos de cultivo. En el caso de sobregiro ecológico nacional (caso de México), es claro que la HE restante se adquiere vía el comercio internacional (en ese caso se trata de 13.3 millones de gha a escala de la ciudad y de 31.5 millones de gha a nivel metropolitano). En el caso de tratarse de países acreedores o con reservas ecológicas a escala nacional, se asume que tales reservas compensan la HE que en efecto se adquiere vía las importaciones.

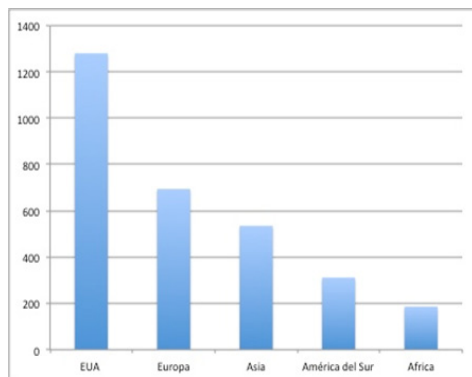
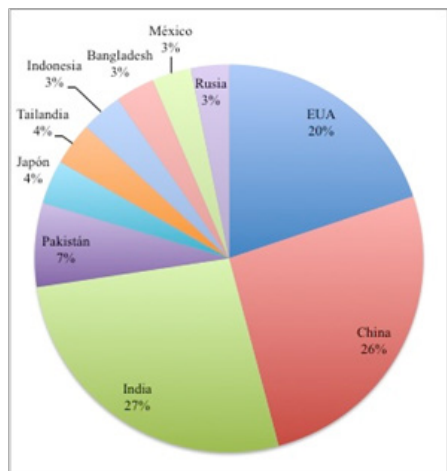
Fuente: elaboración propia a partir del método top-down derivado de las Cuentas Nacionales de Huella Ecológica (Ewing et al, 2010) y de las Cuentas Nacionales de Huella Hídrica (Mekonnen y Hoekstra, 2011).

Hoy por hoy los mayores consumidores del planeta, en términos absolutos, son China, India y EUA, no obstante, si se mira a nivel per cápita, los países desarrollados, comenzando por EUA, consumen mucha más agua que la gente que vive en los países en desarrollo (Figura 4). Y si bien la extracción de agua aumentó tres veces en los últimos 50 años (PNUMA, 2012), se espera que para 2025 se incremente en el orden de un 50% en los países desarrollados y de un 18% en los países en desarrollo, estos últimos precisamente donde se registrará el mayor aumento poblacional. Así, unos 1,800 millones de personas vivirán para el 2025 en países o regiones con escasez absoluta de agua y dos terceras partes de la

población vivirá en condiciones de estrés hídrico (UN Water, 2013).

La situación ya es de por sí compleja y se refleja concretamente en el hecho de que un tercio de la población mundial ya vive en regiones con escaso acceso al agua, una situación que en parte es socialmente construida y en parte biofísicamente definida. Un estudio de las 424 principales cuencas fluviales del mundo precisa que ya se transgreden los requerimientos de flujos ambientales en 223 cuencas donde habitan 2,670 millones de personas, una situación que repercute en una escasez severa del líquido durante por lo menos un mes al año (PNUMA, 2012).

Figura 4. Usuarios de agua a nivel global en términos absolutos y per cápita – 2009.

Principales consumidores de agua
(km³/año)Consumo per cápita de agua por región
(m³/año) – 2009

Fuente: Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: el agua en un mundo en cambio. UNESCO, 2009.

A lo dicho súmese que, dado los crecientes niveles de contaminación, el agua dulce es cada vez de menor calidad, y no sólo su localización está cambiando debido a la alteración del ciclo hidrológico, entre otras cuestiones por efecto del cambio climático. Las tendencias históricas y las estimaciones para el 2050 consideran que hay razones suficientes para proyectar un aumento de la disponibilidad de agua en altas latitudes y zonas tropicales y un decremento en latitudes medias y regiones secas (IPCC, 2013; Nelson *et al*, 2010); un escenario en el que claramente las comunidades más pobres serían las más vulnerables, en particular las mujeres y niños. De hecho, éstas son hoy día las personas más vul-

nerables de entre los aproximadamente 780 millones de personas que carecen de acceso a fuentes de agua limpia y de entre los 2.5 mil millones que carecen de servicio de saneamiento (UNICEF / OMS, 2008).

Los impactos son agudos: el consumo de agua contaminada, más allá de generar unos 4 mil millones de casos de diarrea al año, resulta en 2.2 millones de muertes al año, sobre todo de niños menores de 5 años (muere un niño de ese rango de edad cada 20 segundos) (UN Water, 2013). La cifra de muertes aumenta a 3.5 millones al año cuando se considera no sólo la calidad del agua, sino también cuestiones de higiene y falta de servicio

de saneamiento, contexto en el que 98% de las muertes ocurren en países en desarrollo (Ibíd).

Metabolismo urbano y ecología política del agua: el caso de la Ciudad de México y su zona metropolitana

El análisis del flujo de agua desde una perspectiva metabólica urbana, como se dijo ya identificada por Wolman (1965), pero aún más, de las diversas interconexiones de ese flujo al consumo de energía, resulta relevante tanto en términos socioecológicos y políticos, como climáticos. Y si bien se reconoce que el cambio climático puede afectar la dispo-

nilidad y calidad del líquido y aumentar potencialmente la vulnerabilidad de la población ante posibles inundaciones, este ejercicio se centra exclusivamente en la dimensión de mitigación climática, derivada del mencionado nexo agua-energía.

El caso de estudio comprende la denominada *región hidropolitana* de la ZMVM (Perló y González, 2009) o lo que Peña (2012) prefiere calificar como *ciudad-cuenca* y que refiere, en este caso, a la articulación de cuatro cuencas que de modo natural no tienen conexión alguna: la cuenca del Valle de México, la del Alto Lerma, la del Cutzamala y la de Tula. Véase figura 5.

Figura 5. ZMVM (izquierda) y región hidropolitana (derecha).



El resultado de dicho *ciclo hidrosocial* (Swyngedouw *et al*, 2005), es decir, de la gestión particular del agua en un contexto socio-ambiental dado, ha sido la apropiación/despojo de agua de cuencas vecinas y la expulsión de agua excedentaria y residual hacia otra. Así, mientras las primeras tres cuencas abastecen los flujos de entrada de agua, la última es destino de los flujos de salida de agua, incluyendo aquella que fluye como resultado de lluvias intensas y que históricamente han tendido a inundar el Valle de México en tanto que, la ciudad, está emplazada sobre un sistema endorreico que ha sido desecado progresivamente desde la colonia y concretamente a partir de la construcción del Real Canal de Huehuetoca (1607) el tajo de Nochistongo (1789), el primer (1905) y segundo (1954) túnel de Tequixquiac, el drenaje profundo (1975), y mas recientemente el emisor poniente (2010). El sistema en conjunto permite hoy día expulsar de la cuenca unos $57\text{m}^3/\text{s}$.

No sobra mencionar que aunque en el Distrito Federal la precipitación normal anual es de 863 mm (con base en la media de 1971 al 2000), las lluvias se han tornado cada vez más intensas y durante periodos más cortos (de Junio a

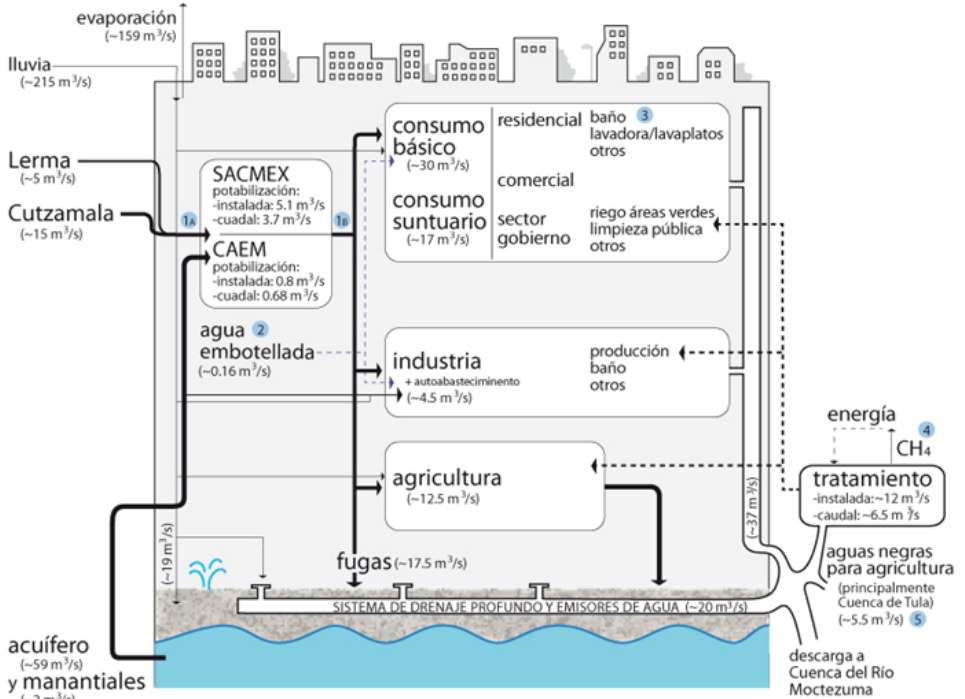
Septiembre), así, desde 1979 se registra un aumento de agua del orden del 7% (en la estación de Tacubaya se pasó de 600 mm en 1900 a 900 mm a fines de la primera década del siglo XXI). Dicha situación, aunado a la proyección en un contexto de cambio climático al 2050 del aumento en la cantidad e intensidad de las precipitaciones, sobre todo en época de lluvias (Aponete, 2013), obliga a mantener a punto tanto el sistema de abastecimiento como el de túneles, emisores y drenaje profundo que expulsa el agua fuera del valle, ello en tanto que hay una relación directa con el grado de vulnerabilidad de la ciudad a inundaciones.¹² Pese a todo, el incremento en la cantidad e intensidad de las precipitaciones al 2050, no significa una disponibilidad futura suficiente de agua para la ZMVM pues la demanda de agua proyectada seguiría siendo mayor (Ibíd).

Como se observa en la Figura 6, los flujos de entrada al Distrito Federal son principalmente: 1) más de 600 pozos que extraen agua del acuífero del Valle de México ($\sim 59\text{ m}^3/\text{s}$), actualmente sobreexplotado a un ritmo de hasta un metro de caída anual en el nivel estático (déficit de unos $\sim 28\text{ m}^3/\text{s}$)¹³; 2) el agua proveniente del sistema

12. De hecho se verifica de manera persistente la inundación de ciertas zonas de la ciudad, incluyendo el desbordamiento de aguas residuales en zonas como el Valle de Chalco e Ixtapaluca. Producto de la falta de saneamiento del sistema de desalojo de agua fuera de la ciudad y de lluvias cada vez más intensas, en 2010 el desbordamiento dejó a casi 25 mil personas sin hogar.

13. Los pozos se ubican en la zona limítrofe del antiguo lecho lacustre (por ejemplo: Sierra las Cruces, acuífero de Texcoco) donde las arcillas, que no permiten la infiltración de agua, tienen un espesor menor. El acuífero se encuentra sobre explotado debido, tanto a los ritmos de extracción como también por la pérdida de capacidad de infiltración y de autorregulación de la cuenca con respecto a los picos de lluvia, a causa de la expansión urbana que "sella" o "asfaltiza" el suelo, sobre todo de las sierras que originalmente rodeaban la ZMVM (también por la erosión de las zonas de conservación y de la reducción de la capa de hielo en los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl). La extracción histórica de agua es: unos $2\text{m}^3/\text{s}$ en 1870; $\sim 22\text{m}^3/\text{s}$ en 1952 (ya con déficit pues la recarga era sólo de $19\text{m}^3/\text{s}$); y a partir de 2007 de unos $59\text{ m}^3/\text{s}$ (Burns, 2009).

Figura 6. Metabolismo urbano del agua de la ZMVM



- 1a y 1b Emisiones por consumo de energía del sistema (bombeo, potabilización, etcétera):
 - SACMEX: ~332 - 284 millones de tCO₂e
 - CAEM: ~830 - 710 millones de tCO₂e
- 2 Emisiones por manufactura, empaquetamiento y distribución:
 - D.F.: ~362 mil tCO₂e
 - Municipios conurbados de la ZMVM: ~900 mil tCO₂e
- 3 Emisiones por calentado de agua para ducha:
 - D.F.: ~929 mil tCO₂e
 - Municipios conurbados de la ZMVM: ~1.3 millones de tCO₂e
- 4 Emisiones de metano:
 - D.F.: ~591 mil tCO₂e
 - ZMVM: ~926 mil tCO₂e
- 5 Emisiones ahorradas por uso de aguas negras en equivalente a emisiones emitidas por la síntesis industrial de nitrógeno y fósforo:
 - Cuenca de Tula: nitrógeno ~282 mil tCO₂e y fósforo 20 mil tCO₂e

Fuente: elaboración propia con base en Burns, 2009; Delgado, 2014⁸; SM-DF, 2012; SEMARNAT/CONAGUA, 2012; y datos de INFO-DF. Diseño gráfico: Ángeles Alegre Schettino.

de las cuencas del Lerma (~5 m³/s) y Cutzamala (~15 m³/s); y 3) manantiales y ríos urbanos (~2 m³/s) (Burns, 2009). En conjunto abastecen el grueso del agua que se distribuye en el

Distrito Federal a través del Sistema de Aguas de la Ciudad -SACMEX¹⁴ y en el Estado de México a través de la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM), a lo que se suman

sistemas de autoabastecimiento de la industria, servicio de pipas irregular (no dependiente de las entidades de gobierno antes indicadas) y además, de pozos clandestinos cuyo número exacto se desconoce pero se estima entorno a 2,250 (Peña, 2012).

Asimismo, la ZMVM importa agua para beber embotellada de diversos lugares, el grueso del país, pero no sólo, también del extranjero. El consumo estimado para el Distrito Federal es del orden de 2.07 hm³/año y el de los municipios del Estado de México e Hidalgo parte de la ZMVM de 3.1 hm³/año, esto es en conjunto unos ~0.16 m³/s, no obstante, se calcula que el total de agua embotellada demanda al año por la ZMVM, considerando el agua adicional necesaria para su producción (agua virtual) en 8.78 hm³/año¹⁵. Cabe precisar que 76.94% de la población del D.F. consume agua de garrafón o embotellada mientras que sólo el 10.84% la hierve, el 4.37% la filtra o purifica por otros métodos y el 4.58% la toma tal y como la recibe (Jiménez *et al.*, 2011). Consumos similares se obser-

van en los municipios conurbados de la ZMVM.

Sin considerar el agua embotellada, el consumo de agua en el DF, el área del la ZMVM con mayores problemas de disponibilidad del líquido, promedia unos 327 litros per cápita al día, cantidad a la que hay que restar una pérdida en fugas de entre el 35% y el 40% (Jiménez *et al.*, 2011; Peña, 2012). El dato no es menor en términos ambientales, sobre todo cuando se toma nota de que poco menos de la tercera parte del agua, y que llega del complejo Lerma-Cutzamala, debe ser bombeada 1,100m adicionales sobre el nivel del mar (la energía empleada para ello representa el 80% de los costos de operación del sistema) (Aponte, 2013)¹⁶. Y aún más, en el caso del Lerma, la capacidad instalada se ha reducido de 15m³/s a ~5m³/s debido a hundimientos registrados a lo largo del sistema derivados del sobre-bombeo de acuíferos de la zona (ello ha incrementado además los costos en bombeo de agua de las ahora zonas bajas del sistema a las altas).

-
14. El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) articula las empresas privadas concesionarias del servicio. Para ello, la Ciudad de México se dividió en cuatro zonas, cada una a cargo de un grupo empresarial: 1) Proactiva Media Ambiente SAPSA de la mexicana ICA y la francesa Veolia; 2) Industrias del Agua de la Ciudad de México S.A. de C.V. de la mexicana Peñoles y la francesa Suez; 3) Tecnología y Servicios de Agua S.A. de C.V. también de Peñoles y Suez; y 4) Agua de México, S.A. de C.V. de capital mexicano.
15. Estimación con base al consumo per cápita nacional para 2009 de 235 litros al año (Delgado, 2014a). Para calcular el agua virtual se utiliza el promedio de agua indirecta que demanda cada litro de agua embotellada, mismo que se estima en 700 ml adicionales según datos de 2010 de FEMSA Coca-Cola y Nestlé-México.
16. Las presas del Sistema Cutzamala (tres de almacenamiento y cuatro derivadoras) almacenan agua del río del mismo nombre, excepto la presa Chilesdo, que aprovecha el agua del Río Malacatepec. La ubicación de las presas en orden ascendente de acuerdo a la trayectoria de los ríos es: a) Tuxpan y El Bosque, en Michoacán; b) Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Villa Victoria y Chilesdo, en el estado de México. Las presas derivadoras son: Tuxpan con una capacidad de cinco hectómetros cúbicos, se encuentra a una elevación de 1751 msnm; la presa Ixtapan del Oro con capacidad de medio hectómetro cúbico, a una elevación de 1741 msnm; Colorines y Chilesdo con una capacidad de un punto cinco millones de metros cúbicos cada una y a una elevación de 1629 y 2396 msnm, respectivamente. Las presas de almacenamiento son: El Bosque, con una capacidad de 202 Mm³ a una altura de 1741 msnm; Valle de Bravo, con 394.4 Mm³ a una elevación de 1768 msnm; y Villa Victoria, con 186 Mm³ a una elevación de 2545 msnm. Este Sistema está integrado por seis macroplantas de bombeo, que en conjunto vencen un desnivel que supera los 1100 m (Aponte, 2013).

Con todo, la disponibilidad de agua es sin embargo asimétrica pues la distribución va de 177 litros en la delegación Tláhuac hasta los 525 litros en la delegación Cuajimalpa. Las delegaciones con los asentamientos de mayores ingresos se ubican en el rango de consumo de los 400 a 525 litros al día per cápita (con base en Jiménez *et al*, 2011).¹⁷

A la cuestión de la cantidad de agua también se suman las desigualdades en la calidad del agua recibida (Jiménez *et al*, 2011; Díaz-Santos, 2012), situación que refleja las limitaciones de capacidad real de potabilización por parte del SACMEX, entidad que cuenta con 38 plantas potabilizadoras en operación con una capacidad instalada de 5.1 m³/s y un caudal potabilizado de sólo unos 3.7 m³/s (SEMARNAT/CONAGUA, 2012; INEGI, 2014). A tal capacidad se suman 3 plantas más correspondientes a los municipios del Estado de México que corresponden a la ZMVM (dos en Chimalhuacán y una en Tlamanalco) con una capacidad instalada de 0.8 m³/s y un caudal real de 0.68 m³/s (SEMARNAT/CONAGUA, 2012).

Ahora bien, en lo que refiere a los flujos de salida (véase asimismo Figura 6), se

estima que la ZMVM genera unos ~57 m³/s de los cuales sólo trata menos del 13% (6.6 m³/s). La capacidad de tratamiento en el Distrito Federal es de 6.7 m³/s con un caudal tratado de sólo 3 m³/s, mientras que en los municipios del Estado de México que forman parte de la ZMVM, la capacidad instalada es de 5.1 m³/s y el caudal tratado de sólo 3.6 m³/s (con base en: SEMARNAT/CONAGUA, 2012).¹⁸ El resto de las aguas residuales y de lluvia se envía a la cuenca del Tula (río Tula-Moctezuma-Pánuco) vía el ya mencionado sistema de drenaje profundo y el Gran Canal. El grueso del agua tratada en el D.F. se utiliza para áreas verdes urbanas (83%) y el resto la reutiliza la industria (10%) o se emplea en la producción de alimentos en zonas periurbanas (5%). En el caso del agua tratada en los municipios del Estado de México, la mayor parte del agua en cambio es usada para actividades agrícolas, lo mismo aplica para buena parte del agua por ser tratada en la planta de Atotonilco en Hidalgo, una de las plantas tratadoras más grandes a nivel internacional, que es desarrollada por un grupo empresarial liderado por la mexicana IDEAL de Carlos Slim y que supone ser suficiente para tratar el 60% de las aguas residuales de la ZMVM

17. El 38.4% de la población del D.F. recibe agua algunas horas al día mientras que el 61.5% la recibe todo el día. No obstante, en promedio el 52%-53% de la población más pobre y medianamente pobre recibe agua sólo algunas horas al día, porcentaje que en las zonas menos pobres se ubica en tal sólo el 18%-19% (Jiménez *et al*, 2011).

18. Tizayuca en el estado de Hidalgo suma 118 litros/s de capacidad instalada y un caudal tratado de 78 litros/s, lo cual no cambia las proporciones indicadas para la ZMVM. Datos para 2013 precisan un caudal tratado por el D.F. de 3.34 m³/s, volumen ligeramente mayor que los años previos pero aún muy por debajo de la capacidad instalada (Solicitud INFO-DF, folio: 032400009414).

con un gasto de 166 millones de KWh al año y la generación promedio de 917 toneladas de lodos al día.¹⁹ En este contexto no deja de ser menor el hecho de que, si bien por un lado es central tratar el agua (por cuestiones ambientales y de sanidad), por el otro, cuando ese proceso está en manos del sector privado, el resultado es una privatización de facto del líquido pues es la iniciativa privada la que controla quién recibe y quién no recibe dicha agua tratada, al menos en ausencia de regulación contraria. La advertencia al respecto la ha ya correctamente hecho Peña (2012) para el caso de la ZMVM como de otros asentamientos urbanos del país con sus propias regiones hidropolíticas multi-cuencas.

Además de lo anterior, en las *grafías* de la ecología política de la principal región hidropolítica del centro del país, es bien conocido que los conflictos por el agua son especialmente intensos, ello debido a la disponibilidad limitada frente a la fuerte demanda del líquido. En tal sentido, no es casual que una revisión de 1990 al 2002 de unas 5 mil notas periodísticas sobre conflictos de agua a nivel nacional concluyera que 49% de las disputas se habían verificado en el Valle de México (Jiménez *et al*, 2011). Las movilizaciones que incluían marchas y toma

de instalaciones, principalmente, fueron en un 56% por falta de líquido y 24% por alza de tarifas; dentro de la ZMVM las zonas de mayor reacción social son precisamente aquellas con menor acceso al agua -debido a que no hay infraestructura suficiente- como lo son ciertas zonas del oriente y de municipios conurbados (Ibíd). Y es que como bien señala Castro, "...no es el ciclo natural el que afecta por igual a todos los habitantes sino que los drásticos cambios naturales afectan de manera diferenciada a los habitantes de acuerdo a la disponibilidad de infraestructura y de eficiencia en la prestación del servicio, según la zona de la metrópoli" (en Ibíd).

Además de los conflictos internos, existen otros en las zonas de captación y expulsión de agua. En referencia a los primeros se registra desde la movilización campesina en la década de 1970 contra la construcción del sistema Lerma en el Valle de Toluca en tanto que significaba la pérdida de cosechas por falta de agua que en cambio era enviada a la ZMVM. El conflicto se resolvió vía indemnización, con maíz primero, y con dinero después, pero los impactos se hicieron visibles con la afectación del sistema lacustre y la pérdida de suelos agrícolas productivos y el emplazamiento de par-

19. El proyecto tiene un costo estimado inicial de 7,359 millones de pesos más intereses para un costo final estimado de al menos unos 15,800 millones de pesos (Burns, 2009). La planta contará con una capacidad de 23m³ en época de estiaje (proceso convencional) y 12m³ adicionales en época de lluvias (proceso físico-químico con unos 4,800 toneladas de cloro al año), esto es, un volumen tratado promedio de 33 m³/s, (CONAGUA, 2014). No es menor anotar que se trata de un proyecto desarrollado por la iniciativa privada, ello pese a que la mitad del financiamiento sea puesto por el gobierno. El contrato ha sido adjudicado del siguiente modo: IDEAL tiene el 40.8% de la participación; Atlatec S.A. de C.V., subsidiaria de Mitsui (Japón) el 24.26%, Acciona Agua S.A. de España otro 24.26%; y CONOISA de la mexicana ICA (10.20%). El resto es propiedad de la mexicana DYCGUSA y Green Gas PioneerCrossingEnergy, LLC de EUA.

ques industriales. Para 1990 aparece otro conflicto en la zona de Temascaltepec donde se proyectaba la ampliación del sistema Cutzamala para obtener 5m³/s adicionales, no obstante el proyecto se logró frenar debido a las reacciones sociales (Jiménez *et al*, 2011). Más recientemente, en 2003, una mala operación de la represa Villa Victoria, que es parte del sistema Cutzamala, inundó 300 hectáreas de cultivos. La situación resultó en la movilización campesina para obtener una indemnización por la pérdida de la producción. Ante la falta de respuesta del gobierno, el movimiento reivindicó su carácter indígena haciendo poco después aparición el denominado Ejército de Mujeres Mazahuas por la Defensa del Agua. Lograda la atención pública, se denunció la carencia de agua en sus comunidades de cara a la apropiación de grandes volúmenes del líquido para abastecer a la ZMVM, al tiempo que se oponían a la Ley de Aguas Nacionales en la que se excluyen los sistemas de gestión comunitarios en territorios indígenas. El proceso de lucha social, pese a ser criminalizado (Ávila-García, 2011), sigue en marcha hasta hoy en día.

También se verifican conflictos por las aguas residuales ante la apuesta de capturarlas para su tratamiento, quitando así buena parte del líquido a campesinos del Valle del Mezquital, Hidalgo, una región con la más baja precipitación a nivel nacional (400 mm/año) donde se siembran unas 85 mil hectáreas de riego con aguas negras, mismas que aportan, sólo en el

Tula, unas 44 mil toneladas de nitrógeno y 17 mil toneladas de fósforo (Burns, 2009).

La reducción del caudal de aguas residuales y el emplazamiento de infraestructura para desviar y tratar parte del caudal de aguas residuales, ha generado conflictos desde finales del siglo pasado. Las movilizaciones por parte de la Unión Productora Agrícola y Ganadera de las Aguas para Riego denunciaba en 2011, una vez más, la merma (hasta en dos tercios) del torrente de aguas no tratadas y con ello la consecuente pérdida de cultivos de hortalizas y alfalfa, una situación que llevaría a expresiones tales como “¡las aguas negras son nuestras!” (La Jornada, 2011). El panorama implica tensiones locales entre agricultores de tierras altas y bajas por las “aguas blancas” provenientes de la represa Requena y las “negras” que descarga la ZMVM. En 2012 la Unión exigía al congreso del estado de Hidalgo que la Comisión Nacional del Agua garantizara mediante documento oficial un volumen equivalente de agua [gratuito] para sus parcelas, al que derivaría a la tratadora de Atotonilco, ello en tanto que existe la preocupación de que a partir de ese momento se cobre por el agua tratada (News Hidalgo, 2012). En 2013 unos 75 mil productores se manifestaron nuevamente por la falta de aguas residuales (Montoya, 2013); el problema sigue latente.

Nexo agua-energía en la ZMVM

En lo que respecta al nexo agua-energía, tal y como se indica en la Figura 6, cabe

precisar que el SACMEX utilizó un total de 570.98 millones de KWh con lo que, entre otras cuestiones, se bombearon 715,141.8 millones de m³ de agua de un total de 953,522 millones de m³ distribuidos (el volumen restante se mueve por gravedad) (INFODF, 2014: folio 032400009414). Las emisiones asociadas por m³ de agua gestionado por el SACMEX en el 2013 ascienden a 0.349gr - 0.298gr de CO₂, lo que totaliza emisiones para ese año del orden de 332,712 a 284,349 tCO₂.²⁰ Del lado de los flujos de agua residual, las emisiones de metano para la ZMVM se estiman en ~1.5 millones de toneladas de CO₂e (SMA-DF, 2012).

A lo anterior se suman las emisiones a nivel del usuario final, dimensión en la cual las emisiones residenciales son las de mayor peso. El uso de energía responde a procesos de calentamiento (o enfriamiento) de agua, lo cual demandó en 2005 alrededor del 17% de la energía total consumida en los hogares de países desarrollados (IEA, 2008), una proporción que se estima mucho mayor para el caso de países en desarrollo donde por lo

general se usan tecnologías menos eficientes. En el caso de México, la Secretaría de Energía (SENER, 2014) estima que el calentado de agua es el tercer gasto más grande en los hogares al representar un 13% del total de energía consumida en ese sector, razón por la cual se recomienda tomar una serie de medidas para su disminución: usar menos agua caliente, bajar la temperatura del termostato del calentador el cual idealmente debe ser nuevo y eficiente (los de paso, o sin tanque de agua, ahorran hasta 30%)²¹, o instalar sistemas solares para calentar el líquido.

En 2006 la estimación del consumo de energía en la ZMVM relacionado a calentar el agua fue de 31.2 PJ o el 46% del total del consumo de energía en el sector residencial; las emisiones asociadas ascendieron a 1,949,224 ton de CO₂ (SMA-DF, 2008: 45); datos para 2010 precisan un consumo de energía en dicho rubro de 33 PJ, es decir un consumo anual per cápita de 1,654 GJ y emisiones anuales per cápita promedio de 105 kg de CO₂e (SMA-DF, 2012).²² Si se asume una población actual para la ZMVM

20. Cálculo con base en las dos metodologías de estimación del factor de emisión por electricidad en México: 1) la de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía que supone con base en el consumo de energía eléctrica una emisión por MWh de 0.5827 tCO₂; y 2) la del Programa México por parte de la generación de energía eléctrica y estima una emisión por MWh de 0.498 tCO₂ (SEMARNAT/ INECC, 2012: 42). El costo económico por energía empleada y derechos pagados fue de \$0.035 pesos por m³, cálculo con base en un costo por KWh para 2013 de \$2.2 pesos (el promedio de tarifa especial para servicios públicos). El monto total por energía empleada se estima para el 2013 en 1256 millones de pesos, mientras que el pago a CONAGUA por derechos fue de 2,086 millones de pesos (con base en solicitud INFO-DF, folio: 032400009414-1/2014).

21. En México el consumo aproximado de un calentador convencional a gas LP para una ducha diaria se ubica en unos 110kg/año, los de gas natural en unos 150m³ al año y los de electricidad en 383.25 KWh/año, siendo los factores de emisión anuales de 330 kg de CO₂, 322.5 kg de CO₂ y 202 kg de CO₂, respectivamente (<http://vivienda.inecc.gob.mx/index.php/energia/los-usos-en-el-hogar/calentamiento-de-agua>).

22. El cálculo para ambos años asume cuatro duchas a la semana por cada habitante de la ZMVM con un uso de 45 litros por ducha (SMA-DF, 2008; SMA-DF, 2012). Desde luego tal cálculo depende de los hábitos por lo que una persona que se ducha seis veces a la semana, empleando 65 litros de agua caliente, emitirá en cambio 208 kg de CO₂e al año (SMA-DF, 2012).

de 22 millones de habitantes, las emisiones para calentar agua rondan los 2.3 millones de toneladas de CO₂.

Por su parte, las emisiones asociadas al consumo de agua embotellada, considerando la manufactura, el empaquetamiento y distribución ascienden a 362.4 mil ton de CO₂/año para el D.F. y a 900.9 mil ton de CO₂/año para la ZMVM.²³ No sobra agregar que los residuos plásticos generados por el consumo de agua embotellada suman a unas 80,351 toneladas para el caso del D.F. y a 199,742.4 toneladas para la ZMVM.²⁴ Se trata de residuos que deberán ser recogidos y en su caso reciclados o desechados, cuestión que demanda consumos de energía importantes que bien podrían ser disminuidos o evitados (a lo que se agregan los impactos ambientales derivados de la disposición de crecientes cantidades de plásticos en el medio ambiente).

De modo similar, las emisiones evitadas por el uso de aguas negras, un proceso que recupera los nutrientes del agua (fósforo y nitrógeno) y que por lo tanto ya no han de ser sintetizados industrialmente, se estiman tanto para la superfi-

cie del Tula como del Valle de México en unas 414.5 mil toneladas de CO₂e.²⁵ En este contexto debe advertirse que si bien existen medidas para el uso seguro de aguas residuales (Duncan y Cairncross, 1989), éstas ciertamente no se implementan en el caso de análisis en tanto que, por ejemplo, es necesario remover sustancias tóxicas y patógenos mediante procesos de tratamiento previos a la irrigación.

Por todo lo antes dicho, y considerando que las emisiones totales de GEI por uso de electricidad en SACMEX, el calentado de agua a nivel residencial, el consumo de agua embotellada y la emisiones de metano de las aguas residuales, ascienden a unos 5 millones de ton de CO₂e (el 9% de las emisiones de GEI contabilizadas en 2010)²⁶, es válido sostener que la planeación del metabolismo urbano del agua puede claramente generar sinergias positivas cuando se la hace a la par de otras dimensiones como lo es la energética (incluyendo el tratamiento de aguas residuales asociado a la captura de metano), la gestión de residuos y el mantenimiento de sistemas de agua que en muchas ocasiones arrastran consigo

23. Estimación de emisiones con base en un factor de 175gr por litro de agua embotellada, según información de Nestlé-México (en Delgado, 2014a).

24. Estimación de generación de residuos plásticos de 38.8gr (botella + empaques secundarios) por litro de agua embotellada, según información de Nestlé-México (en Delgado, 2014a).

25. Las aguas residuales contienen un 97% agua y 3% materiales sólidos (orgánicos e inorgánicos). Los factores utilizados para el cálculo de emisiones son: 6.41 kg de CO₂e por kilogramo de nitrógeno y 1.18 kg de CO₂e por kilogramo de fósforo (con base en estimaciones de García et al, 2011).

26. El total de emisiones de la ZMVM para 2010 fue de 54,700 Gg de CO₂e (SMA-DF, 2012). Dado que se desconoce si la energía empleada por las plantas de tratamiento está o no incluídas en las emisiones inventariadas bajo el rubro de "tratamiento de agua" del Inventario de Emisiones de la ZMVM, no se han contemplado las emisiones de operación de dichas plantas de tratamiento con el fin de evitar una doble contabilidad. Y es que nótese, las emisiones de operación de las plantas de tratamiento son distintas al metano liberado por las aguas residuales. En todo caso, la estimación es la más conservadora.

grandes cantidades de plásticos y otros residuos orgánicos e inorgánicos. A ello se suma el beneficio del cierre del ciclo de nutrientes mediante el uso de aguas residuales en la agricultura y que, en el caso de estudio tal y como se dijo, ayuda a evitar la emisión de poco menos de medio millón de toneladas. Se trata de una medida que bien implementada, tomando las medidas necesarias para proteger la salud y el medio ambiente, sería deseable tanto ambiental como climáticamente hablando.

Ahora bien, en términos de mitigación climática es por tanto central reducir el consumo energético de todo el sistema de aguas y el destinado al calentamiento de la misma dentro de los hogares. Asimismo, el consumo de agua embotellada debería evitarse tanto por el costo energético como ambiental que representa (el emplazamiento de bebederos en escuelas públicas, contemplado en la recién aprobada reforma a la Ley General de la Infraestructura Física Educativa, en Marzo de 2014, bien puede ayudar en este sentido aunque la iniciativa debería ser ampliada a todos los espacios públicos posibles; al respecto léase Delgado, 2014b). Otras medidas incluyen normas de construcción y diseño y codiseño de infraestructuras urbanas para promover sinergias y reducir ineficiencias derivadas de una aproximación especializada (en lugar de cada vez más integral). Lo dicho a nivel de departamentos, casas, edificios, oficinas y fábricas, incluye tanto medidas para el reuso de aguas

grises como para disminuir la energía necesaria para el bombeo (se estima que cada seis pisos de construcción agrega un consumo energético asociado al bombeo de agua de 0.15 KWh por m³; Cheng, 2002). Y aunque los impactos más allá de las fronteras de un asentamiento seguramente persistirán, se afirma que es posible sin embargo reducir la huella hídrica y la huella de energía conforme nuevos principios de diseño en la gestión del agua se incorporen a los proyectos de construcción y renovación de infraestructura (Nelson, 2012).

Conclusiones: apostando por nuevos paradigmas.

Las capacidades para transformar los espacios urbanos en países ricos son incomparablemente mayores que las de los países pobres no sólo porque cuentan con mayores medios económicos, sino en tanto que se pueden permitir “exportar” o internacionalizar, muchos de los costos socioambientales y climáticos ocultos o indirectos (ello pese a que todas las ciudades lo hacen una u otra medida con sus propios espacios inmediatos).

La cuestión urbana en países pobres tiende a ser más problemática y compleja dada la limitada o comprometida capacidad de toma de medidas y acciones. AL-a diferencia de África y Asia del Sur es mayoritariamente urbana al registrar porcentajes similares a los de los países

ricos, pero con economías fuertemente primarizadas, esto es comparativamente limitadas en el mejor de los casos. En tal tenor, los medios económicos son restrictivos y las condiciones políticas altamente complejas y deficientes, al menos comparativamente hablando. Se trata de un escenario en donde además, la variable de la pobreza, sobre todo en los cinturones de miseria, pero también de las zonas rurales de la ciudad, representa un enorme reto para cualquier tipo de reconfiguración de lo urbano hacia aquel de tinte más humano, ambientalmente armónico y culturalmente diverso.

En cualquier caso, el diseño y ejecución de las políticas públicas necesarias para transformar la actual tendencia de construir, operar, gestionar y vivir las ciudades deberá ser imaginativo y propositivo, y sobre la base de una planeación integral entrópica (Bettini, 1998) de las ciudades, sus espacios rurales y sus áreas de conservación en tanto que pensar lo urbano de manera autocontenida no tiene sentido espacial-territorial alguno, ni socioeconómica, ni ambientalmente hablando. La suma de múltiples acciones, si éstas parten del mencionado proceso de planeación integral de los territorios y sus usos, podrá tener un mayor impacto al posibilitar sinergias y co-beneficios de diversa índole. Por ello, la tradicional gestión sectorializada ya no es suficiente, ni viable.

El asunto circunscribe, además de la planeación integral de los usos del suelo,

nuevas modalidades de gobernabilidad, la participación y genuina inclusión ciudadana, la valoración sobre la pertinencia y viabilidad del nuevas formas de diseño y construcción de infraestructura, el aprovechamiento de “tecnologías verdes” modernas, la preservación de los cinturones verdes y la restauración ambiental de la periferia urbana, el cuidado y recuperación de ríos, canales y cuencas de inundación, el estímulo de programas formativos, informativos y de participación ciudadana; entre otras acciones e instrumentos que permitan reconvertir las urbes, según la ruta que cada asentamiento se trace acorde a su propia realidad, en espacios cada vez menos devoradores de suelo, materiales y energía, más vivibles, aptos frente al cambio climático y la crisis medioambiental, y socialmente más justos e integradores.

Para un éxito mayor, el análisis metabólico de los asentamientos urbanos se precisa de manera permanente de tal suerte que se puedan ajustar los instrumentos de política pública (y no meramente de gobierno) a los cambiantes contextos imperantes y en relación a una tendencia histórica y un futuro socialmente deseable.

En el caso específico del ciclo hidrosocial del agua en la ZMVM el reto es de gran calado pero con ciertos aspectos ya evidentes. En tal sentido, pese a que la población crece lentamente en la zona ya urbanizada (hay un aumento

importante algunos municipios conurbados), se verifica una necesidad de $1\text{m}^3/\text{s}$ de agua extra tan sólo para el año 2015. Se trata de una demanda que se gesta en un escenario de disminución del caudal de abastecimiento en la última década del orden de $3\text{m}^3/\text{s}$. Así entonces, en los próximos años es claro que la mayor presión se gestará en los municipios conurbados, aunque cambios en las expectativas sociales sobre la cantidad, pero sobre todo la calidad del líquido podrían también imponer retos importantes al sistema de abastecimiento (Jiménez *et al*, 2011).

Reconociendo que la disponibilidad de agua ya ha llegado a su máximo viable pese a todos los impulsos tecnológicos y de grandes infraestructuras, la solución si bien puede pasar momentáneamente -y no libre de disputas²⁷- por la expansión del sistema hacia regiones más remotas (como la denominada cuarta etapa del sistema Cutzamala que apuesta por hacerse del agua del alto río Tula, del Tecolutla, del Valle del Mezquital y el Amacuzac; en el mejor de los casos regresando volúmenes comparativamente menores de agua tratada de menor calidad), la alternativa de largo plazo no es simple ni puede centrarse más en

meras soluciones ingenieriles de gran calado. La denominada “nueva cultura del agua” que apunte hacia consumos moderados y responsables (pero socialmente justos) y que prevenga el arribo de contaminantes a las fuentes de agua, ciertamente constituyen una dimensión importante, aunque atender el problema de fugas del sistema actual y futuro, procurar la efectiva planeación del uso del suelo, en especial el periurbano, y proteger el suelo de conservación al tiempo que se restaura la vegetación del mismo y la de la propia ciudad (con el objeto, entre otras cuestiones de aumentar la capacidad de evapotranspiración y reducir la temperatura de la ciudad), sugieren ser cuestiones de primerísimo orden.²⁸

Dada la heterogeneidad de condiciones hídricas y de infraestructura territoriales que dificultan la homogeneidad ideal en la dotación equitativa de agua en cantidad, calidad y frecuencia en toda la ZMVM, asimismo resulta atractiva la apuesta por la descentralización de parte de los sistemas tanto de abastecimiento como de tratamiento/desalojo de aguas residuales por la vía de adicionar, a múltiples escalas espaciales, sistemas de menor calado y descentralizados que en sí mismos pueden aumentar la flexibi-

27. En tal escenario, como subrayan Jiménez *et al* (2011), no es menor el hecho que la ZMVM se encuentre aguas abajo de las fuentes captadas que, además, corresponden a otras entidades del país.

28. Burns y colegas (Burns, 2009) ofrecen un análisis pertinente sobre diversas medidas puntuales y su potencial para reducir la fuerte dependencia de agua de la ZMVM y sus implicaciones. Denota, por ejemplo, el cuidado de la cuenta alta y del suelo de conservación acompañado de procesos de reforestación, entubado de aguas residuales y de lluvia por separado, la perforación y mantenimiento de pozos y lagunas de infiltración, la recuperación de las zonas de chinampas en Xochimilco y Tláhuac, reinyección de agua tratada a los acuíferos, el estímulo a la captación de agua pluvial, entre otras de carácter regulatorio relacionadas al uso del suelo, el sistema de concesiones, las estrategias de gestión por zonas pero con mirada integral de cuencas, etcétera.

lidad, transformación y resiliencia de los sistemas de agua ante shocks externos, incluyendo los derivados del cambio del clima (e.g. cosecha de lluvia, reuso/tratamiento de agua a escala local, etcétera).

En resumen, nuevos paradigmas en la gestión del agua, socio-ecológicamente más justos y armónicos en el corto, mediano y largo plazos, demandan todo un conjunto de nuevas tecnologías, prácticas (incluyendo la planeación y regulación) y valores que han de ser desarrollados y puestos en práctica por todos y cada uno de los habitantes en tanto actores sociales, políticos y/o empresariales de tal o cual territorio. El proceso es viable aunque ciertamente lento debido, tanto al amarre o *lock-in* que genera la infraestructura existente, como por la persistencia de prácticas e intereses anclados en criterios tradicionales de gestión. En tal tenor la genuina gestión ciudadana -más allá de la participación

ciudadana-, que defienda de modo permanente la garantía del derecho humano al agua, formalmente reconocido en la Constitución Mexicana, Artículo 4, desde 2012, es y será ciertamente cada vez más importante.

Reconocimientos

Este trabajo es resultado del proyecto de investigación “Valoración del metabolismo urbano en la Ciudad de México y sus impactos socioeconómicos frente al cambio climático”, financiado por el Programa de Investigación en Cambio Climático y realizado desde el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH), ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Agradezco a Ángeles Alegre Schettino, del CEIICH, por su apoyo en el diseño gráfico de la figura 6.

Bibliografía

- Angel S., J. Parent, D.L.Civco, A. Blei, y D. Potere. 2011. "The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000-2050." *Progress in Planning*. 75. Pp. 53-107.
- Aponte Hernández, Nidya Olivia. 2013. "Metodología para evaluar la disponibilidad del agua para uso municipal y sus costos bajo los escenarios de cambio climático". Programa de Posgrado en Ingeniería Ambiental. Posgrado de Ingeniería, UNAM. México.
- Ávila-García, Patricia. 2011. "Water conflicts and human rights in indigenous territories of Latin America". Rosenberg International Forum on Water Policy. En línea [consultado el 29/03/14]: <http://ciwr.ucanr.edu/files/168776.pdf>
- Baccini, P., y Brunner, P. 1990. *Metabolism of the Anthroposphere*. First Edition. MIT Press. Cambridge, MA. / Londres.
- Baccini, P., y Brunner, P. 2012. *Metabolism of the Anthroposphere*. Second Edition. MIT Press. Cambridge, MA. / Londres.
- Bettini, Virginio. *Elementos de ecología urbana*. Madrid, España: Trotta, 1998.
- Burns, Elena (coordinadora). 2009. *Repensar la Cuenca: la gestión de los ciclos del agua en el Valle de México*. UAM-X/ USAID. México.
- Cheng, C. 2002. "Study of the Inter. Relationship Between Water Use and Energy Conservation for a Building." *Energy and Buildings*. Vol. 34. No. 3. Pp. 261-266.
- CONAGUA, 2014. "Planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco", en línea [consultado el: 29/03/14]: www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelValledeMexico/ProyectoDrenajes.aspx?Pag=3
- Crutzen, P., y Stoermer, E. 2000. "The Anthropocene." *Global Change Magazine*. No. 41. IGBP Secretariat, Royal Swedish Academy of Sciences. Pp. 17-18.
- Crutzen, P. 2002. "Geology of Mankind". *Nature* 2002. Vol. 415 No. 23.
- Delgado-Ramos, Gian Carlo. 2013. "Climate change and metabolic dynamics in Latin American major cities" en: Zubir, S.S. y Brebbia, C.A. (editores). *Sustainable City VIII. Urban Regeneration and Sustainability*. WIT Press. Southampton, Reino Unido., Pp. 39 -56.
- Delgado-Ramos, Gian Carlo. 2014a. "El negocio del agua embotellada". *Realidad Económica*. No. 281. Instituto Argentina para el Desarrollo Económico. Buenos Aires, Argentina. 1ro de Enero al 15 de Febrero.
- Delgado-Ramos, Gian Carlo. 2014b. "Agua, obesidad y política pública". *La Jornada de Oriente*. Puebla, Puebla. 27 de Enero.
- Delgado Ramos, Gian Carlo. 2012. "Metabolismo urbano y transporte" en: Delgado Ramos, Gian Carlo (coord.). *Transporte, ciudad y cambio climático*. CEIICH-UNAM. México, 2012.
- Delgado Ramos, Gian Carlo., Campos Chávez, Cristina., y Rentería Juárez, Patricia. 2012. "Cambio climático y el metabolismo urbano de las megaurbes latinoamericanas". *Habitat Sustentable*. Vol. 2. No. 1. Santiago de Chile, Chile. Pp. 2 – 25.
- Davis, M. 2006. *Planet of Slums*. London-

- Nueva York. Versus.
- Díaz Álvarez, C.J. 2011. *Metabolismo de la Ciudad de Bogotá: una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental urbana*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Díaz-Santos, María Guadalupe. 2012. *Implicaciones sociales de los contratos al sector privado en el servicio de agua potable en la Ciudad de México*. Tesis de Licenciatura en Sociología. FCPyS, UNAM. México.
- Duncan Mara y Cairncross, Sandy. 1989. *Guidelines for the safe use of waste water and excreta in agriculture and aquaculture*. Organización Mundial de la Salud. En línea: <http://whqlibdoc.who.int/publications/1989/9241542489.pdf>
- Ewing, B., Moore, D., Goldfinger, S., Oursler, A., Reed, A., y Wackernagel, M. 2010. *The Ecological Footprint Atlas 2010*. Global Footprint Network. Oakland, California., EUA.
- García, Carlos., Fuentes, Alfredo., Hennecke, Anna., Riegelhaupt, Enrique., Manzini, Fabio y Masera, Omar. 2011. "Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico". *Applied Energy*. Vol. 88. No. 6. Pp. 2088-2097.
- Garza, Gustavo. 2002. "Evolución de las ciudades mexicanas en el siglo XX." *Notas*. Revista de información y análisis. No. 19. México.
- Godrej, Dinyar. 2001. *No-Nonsense Guide to Climate Change*. Verso. Reino Unido.
- Haberl; Helmut., Fischer-Kowalski, Marina., Krausmann, Fridolin, Martínez-Alier, Joan., y Winiwarter, Verena. 2011. "A Socio-metabolic Transition towards Sustainability? Challenges for Another Great Transformation." *Sustainable Development*. Vol. 19. Pp. 1-14.
- IEA – International Energy Agency. 2008. *World Energy Outlook – 2008*. OECD. Paris, Francia.
- IEA - International Energy Agency. 2010. *Key World Energy Statistics*. International Energy Agency. Paris, Francia.
- INECC. 2012. *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. INECC-SEMARNAT. México.
- INEGI. 2014. *Anuario estadístico y geográfico del Distrito Federal - 2013*. México.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013. *Climate Change 2013: the Physical Science Basis*. AR5 – WGI. WMO / UNEP. Ginebra, Suiza.
- Jiménez Cisneros, Blanca., Gutiérrez Rivas, Rodrigo., Marañón Pimentel, Boris., y González Reynoso, Arsenio (coord.). 2011. *Evaluación de la política de Acceso al agua potable en el Distrito Federal*. PUEC-UNAM. México.
- Jornada, La. 2011. "Escasez de aguas negras incuba conflicto en Valle del Mezquital". *La Jornada*. México, 29 de Mayo.
- Kennedy, C., Cuddihy, J., y Engel-Yan, J. 2007. *The Changing Metabolism of Cities*. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43-59.
- Kennedy, C., Steinberg, J., Gasson, B., Hansen, Yvone., Hillman, Timothy., Havránek, M., Pataki, D., Phdungsilp, A., Ramaswami, Anu y Villalba Méndez, G. 2009. "methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities". *Energy Policy*. Vol. 38. Elsevier.

- Pp. 4828-4837.
- Kennedy, C., Pinceti, S., y Bunje, P. 2011. "The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design." *Environmental Pollution*. Vol. 159, 8-9. Pp. 1965 – 1973.
- Krausmann et al. 2009. "Growth in global material use, GDP and population during the 20th Century." *Ecological Economics*. No. 68: 2696 – 2705.
- McKinsey Global Institute. 2013. Infrastructure productivity: How to save \$1 trillion a year. McKinsey. En línea [consultado el 29/03/14]: www.mckinsey.com/~media/McKinsey/dotcom/Insights%20and%20pubs/MGI/Research/Urbanization/Infrastructure%20productivity/MGI_Infrastructure_Full_report_Jan2013.ashx
- Mekonnen, M.M. y Hoekstra, A.Y. 2011. National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption. *Value of Water Research Report Series No. 50*, UNESCO-IHE, Delft, Holanda.
- Minx, Jan., Creutzig, Felix., Medinger, Verena., Ziegler, Tina., Owen, Anne., y Baiocchi, Giovanni. 2010. Developing a pragmatic approach to assess urban metabolism in Europe. A report to the European Environment Agency. Stockholm Environment Institute / Universidad Técnica de Berlín.
- Montoya, Juan Ricardo. 2013. "Acusan de despojo de aguas negras a Edomex y DF". *MagazineMx*. México, 17 de Julio. En línea [consultado el 29/03/14]: www.magazinemx.com/bj/articulos/articulos.php?art=15157
- Mumford, L. 1961. *The City in History: Its Origins, Its Transformations and Its Prospects*. Nueva York, Estados Unidos. Harcourt, Brace & World.
- Naciones Unidas. 2011. *World Urbanization Prospects, the 2011 Revision*. The Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations.
- Nelson, Valerie. 2012. "Achieving the water commons - the role of decentralised systems", en: Howe, Carol y Mitchell, Cynthia. *Water Sensitive Cities*. IWA Publishing. Londres, Reino Unido.
- Nelson et al. 2010. *Food Security, Farming and Climate Change to 2050*. International Food Policy Research Institute. Washington, D.C., EUA.
- Newman, P., Beatley, T., y Heather, B. 2009. *Resilient Cities. Responding to Peak Oil and Climate Change*. Island Press. Washington, D.C., EUA.
- NewsHidalgo. 2012. "Temen campesinos de Hidalgo, fatla de agua para sus cultivos". *News Hidalgo*. México, 12 de Junio. En línea [consultado el 29/03/14]: <http://www.newshidalgo.com.mx/?p=4925>
- Peña Ramírez, Jaime. 2012. *Crisis del agua en Monterrey, Guadalajara, San Luis Potosí, León y la Ciudad de México (1950 – 2010)*. PUEC-UNAM. México.
- Perló, Manuel y González, Arsenio. 2009. "¿Guerra por el agua en el Valle de México? Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México". PUEC-UNAM. México.
- PNUMA. 2012. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*. GEO 5. Editora Novo Art. Panamá.

- Rockström, J. et al. 2009. “Planetary boundaries:exploring the safe operating space for humanity.” *Ecology and Society*. Vol. 14. No.2. Artículo 32.
- SEMARNAT/CONAGUA. 2012. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. México, 2012.
- SEMARNAT/INECC. 2012. México – Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México. En línea [consultado el 29/03/14]: www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/685.pdf
- SMA-DF – Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. 2008. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2006. Gobierno del Distrito Federal. México.
- SMA-DF – Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. 2012. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2010. Gobierno del Distrito Federal. México.
- Steffen, Will., Grinevald, Jacques., Crutzen, Paul., John McNeil. 2011. “The Anthropocene: conceptual and historical perspectives.” *Philosophical Transactions A. The Royal Society*. Vol. 369. Pp. 842-867
- Swyngedouw, E., Heynen, N., y Kaika, M. 2005. “Urban Political Ecology – Politicising the Production of Urban Natures”, en: *In the Nature of Cities – Urban Political Ecology and the Politics of Urban Metabolism*. Routledge. Londres, Reino Unido.
- UN-HABITAT. 2009. *Planning Sustainable Cities*. Global Report on Human Settlements 2009. Earthscan. Londres, Reino Unido.
- UN-HABITAT. 2011. *Cities and Climate Change*. Earthscan. Londres, Reino Unido / Washington, EUA.
- UN Water. 2013. Water Fact sheets. En línea: www.unwater.org/water-cooperation-2013/get-involved/campaign-materials/water-factsheets/en/
- UNICEF / OMS. 2008. *Progress on Drinking Water Supply and Sanitation*. UNICEF and World Health Organization Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Nueva York, EUA / Ginebra, Suiza
- Wolman, A. 1965. “The metabolism of cities.” *Scientific American*. 213(3): 179-190
- Zalasiewicz, Jan., Williams, Mark., Steffen, Will y Crutzen, Paul. 2010. “The New World of Anthropocene”. *Environmental Science and Technology*. No. 44. Pp. 2228-2231.
- Zhang, Y. 2013. “Urban metabolism: a review of research methodologies.” *Environmental Pollution*. No. 178. Pp. 463-473.