

Residuos sólidos municipales, minería urbana y cambio climático*

Gian Carlo Delgado Ramos**

El artículo abre con una introducción a los actuales patrones de consumo y generación de desechos, así como su composición, además de delinear los retos de esa gestión y anunciar su potencial en la mitigación del cambio climático, entre otros aspectos ambientales y de salud pública. Se presenta la cuestión del cambio climático desde la perspectiva del metabolismo urbano, en particular en ciertas ciudades de América Latina, para identificar el rol y las dinámicas que juegan los flujos de residuos sólidos urbanos. Analiza el potencial de mitigación mediante la minería urbana de los materiales recuperables en múltiples marcos temporales de planeación y para el caso de ciertas ciudades latinoamericanas, pero en particular en la Ciudad de México, vista desde el contexto nacional. Finalmente, se reflexiona en torno a la complejidad que rodea el reto de la gestión integral y socio-ecológicamente más armónica de los residuos urbanos, así como sobre la utilidad de la perspectiva del metabolismo urbano y la ecología política urbana para enfrentar tal reto.

Introducción

La cantidad de desechos generados en el mundo es de 2.5 a 4 mil millones de toneladas métricas anuales, sin incluir aquellos residuos

recolectados de la construcción, demolición, minería y agricultura. Se excluye, además, una cantidad mucho mayor de basura generada que no es recolectada o que es gestionada de manera ilegal o fuera de los circuitos convencionales.

La amplitud de los datos indicados responde a diversas cuestiones, en especial a la definición de desechos usada y, por tanto, del tipo de residuos incluidos en la contabilidad, de la disponibilidad de información y su calidad, así como de los supuestos y modelos empleados en las estimaciones.

Las dimensiones del flujo de desechos tienen directa correspondencia con la capacidad de poder adquisitivo, de ahí que haya una correlación proporcional entre el incremento del PIB, el consumo energético y material y la

generación de residuos. Dicho de otro modo, el incremento del metabolismo social (Fischer-Kowalski y Haberl, 2000) o del consumo de energía y materiales se refleja tanto en el aumento del uso total de recursos naturales como en la generación de residuos de todo tipo. Por lo dicho, es relevante dar cuenta del dinamismo metabólico de la humanidad.

En el último siglo, mientras la economía aumentó más de 20 veces y la población sólo cuatro veces, el consumo promedio de energía lo hizo 12 veces, el de metales 19 veces y el de materiales de construcción hasta 34 veces (caso del cemento) (Krausmann et al., 2009). El flujo de residuos también aumentó, pues los datos de residuos sólidos municipales —de los más completos y finos en

* Avances de investigación del proyecto CEIICH-PINCC, UNAM “Valoración del metabolismo urbano en la Ciudad de México y sus impactos socioeconómicos frente al cambio climático”.

** Economista con maestría en Economía Ecológica y Gestión Ambiental y doctorado en Ciencias Ambientales. Investigador de tiempo completo del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Integrante del Sistema Nacional de Investigadores, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México. Autor líder del 5o. Informe del Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC).

generación de residuos con que se cuenta— útiles en una primera aproximación indican que sólo en medio siglo casi se cuadruplicó la generación de ese tipo de residuos, al pasar de 360 millones de toneladas, en 1960, a 1.16 - 1.3 mil millones de toneladas en 2010/2011 (Lacoste y Chalmin, 2006; Hoornweg y Bhada-Tata, 2012)¹. Tal cifra se espera se duplique en 2025, puesto que se calculan para entonces 2.2 mil millones de toneladas anuales (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

En este contexto resulta notorio que el estadounidense promedio genere más basura que cualquier otro habitante del planeta. El país norteamericano con sólo 5% de la población mundial es responsable de 25% de la generación mundial de basura (Humes, 2012: 9). Genera 389.5 millones de toneladas de residuos sólidos o 18 veces el peso de la población adulta de ese país². Lo anterior significa que cada estadounidense arroja 2.5 a 3.5 kilos al día o una media de 102 toneladas de basura a lo largo de su vida (Humes, 2012: 4-5)³. Cabe precisar la tendencia ascendente de generación de basura en ese país, pues aumentó en el orden de un tercio, de 1980 a 2000, y en casi el doble, de 1960 a 2000; esto es 50% más que cualquier otro habitante con un estándar de vida similar (Austria, Dinamarca o Alemania) (Humes, 2012: 5).

En el proceso, destaca la aparición y generación cada vez más intensa de ciertos residuos, como los plásticos y los polímeros en todas sus variantes, pues a finales de la década de 1960 constituían 0.4% del total de residuos de EE.UU. en términos de peso (recuérdese que se trata de uno de los residuos más ligeros), pero para en 2000 esa proporción había aumentado en más de 63 veces. Y la tendencia es igual en el mundo, pues el plástico, sólo después del papel y cartón, se coloca en términos de peso como el residuo de mayor presencia en la composición de la basura a principios del siglo XXI (véase Tabla I). Desde luego, ello se debe a la irrupción de innovaciones tecnológicas de parte de la industria de plásticos y polímeros, con la aparición del vaso plastificado, en 1944, de

la bolsa de polietileno, en 1957, de la primera pluma plástica desechable (Bic) y de los primeros rastrillos desechables, ambos en 1960, o de la introducción de los envases de PET, por parte de DuPont en 1964, entre otras.

Tabla I
Composición actual de los flujos de residuos a nivel mundial y regional (porcentajes por tipo de material)

Material	Composición material por tonelada de residuo sólido municipal						
	Promedio Europa Central	Promedio EE. UU.	Promedio China	Promedio India	Promedio África	Promedio América Latina	Promedio mundial
Papel	22.88%	28%	9%	8%	7.63%	15.91%	15.24%
Plástico	10.5%	12.4%	13%	9%	5.75%	13.18%	10.64%
Aluminio	2.6%	6%	0.6%	0.6%	1.46%	1.57%	2.14%
Aceros	1.3%	3%	0.4%	0.4%	0.73%	0.78%	1.1%
Vidrio	8.75%	4.6%	2%	1%	2.07%	3.73%	3.69%
Biomasa	34.88%	27%	65%	48%	63.41%	49.27%	47.93%

Fuente: ISWA, 2009; Hoornweg y Bhada-Tata, 2012, y datos oficiales de EPA (EE.UU.) y NSWAI (India).

A los datos antes expuestos se suman los residuos de la industria, la cual aporta la gran mayoría: 35 toneladas per cápita al año, para el caso de EE.UU. (alrededor de 2 mil 700 toneladas a lo largo de la vida de cada estadounidense) (Humes, 2012: 9). Tal situación, de modo considerable, eleva las 102 toneladas per cápita de basura directamente generada por cada estadounidense.

Las cifras para otros países desarrollados tampoco son tan alentadoras, aunque la capacidad de su gestión, reúso y reciclaje, ciertamente, varía. Por ejemplo, mientras que en EE.UU. se recicla o recupera 34.7% de los residuos y se incinera 11.7%, aparentemente todo con recuperación de energía (<epa.gov>), en la UE se recicla o recupera 45.5% y se incinera 11.6%, del cual sólo 6.2% es con recuperación de energía (<eurostat.europa.eu>).

En México, la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) se estima en el orden de 102.8 mil toneladas diarias o 852 gr per cápita al día; la región noroeste es la más contaminadora, con un valor de 1.54 kg per cápita al día (INECC, 2012: 15, 18). La recolección de los mismos asciende sólo a 83.9% del total generado, pero sólo 9.1% es de recolección selectiva (INECC, 2012: 24). Mientras que la Ciudad de México, el Estado de México y Jalisco generan la tercera parte de los residuos del país, Querétaro, Jalisco y Nuevo León son, en cambio, los estados que registran el mayor porcentaje de recolección selectiva: 57%, 40% y 30%, respectivamente (INECC, 2012: 24, 30). La Ciudad de México y el Estado de México sólo acumulan 18% y 15%, respectivamente.

¹ Del monto de residuos municipales generados hoy día, 300 millones de toneladas fueron recicladas (incluyendo composta), 200 millones de toneladas quemadas con algún sistema de recuperación de energía, 200 millones se dispusieron en rellenos sanitarios y las restantes 800 mil millones toneladas se desecharon al aire libre.

² El dato oficial reconoce 250 millones, pero se deben sumar 140 millones de toneladas de desechos adicionales que no son contabilizados, pues son generados de manera irregular/ilegal (Humes, 2012: 7).

³ Para propósitos comparativos, en México el promedio de emisión per cápita a nivel nacional se calcula en 852 gramos per cápita al día (INECC, 2012: 17).

Del total recolectado, se recicla 9.2%, esto es, 3 mil 823 toneladas al día por pepena, mil 346 toneladas al día en plantas especializadas y 4 mil 366 toneladas al día recicladas directamente por la industria (INECC, 2012: 25). No deja de ser relevante que de las casi 81 mil toneladas que van a disposición final cada día, 16.3 mil toneladas, o 15.9% del total generado, se hace a cielo abierto (INECC, 2012).

De modo similar a México, la falta de información, la limitada capacidad de recolecta, gestión y, aún más, de reciclaje son constantes también en el resto de países en desarrollo o pobres. Los mayores esfuerzos —o la falta de éstos— se registran en los municipios, en tanto que es ahí donde concretamente se vive el problema, independientemente de si se trata de municipios urbanizados o rurales, pues mientras en los primeros se genera el grueso de residuos, en los segundos se disponen muchos de ellos o se generan otros asociados a la producción de alimentos o extracción de materiales, en su mayor parte a ser consumidos por los asentamientos urbanos.

La necesidad de tomar medidas acordes responde no sólo a cuestiones ambientales y de salud pública, sino también, y de manera más recientemente, como medida de mitigación del cambio climático, en tanto que los residuos sólidos orgánicos generan metano, mientras que la quema no controlada de residuos emite gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes atmosféricos.

Se estima que en los últimos 40 años las emisiones de metano generadas por el sector residuos se duplicaron, sin

considerar las condiciones climáticas y micro-climáticas del suelo. Así, se pasó de poco menos de 350 mil Gg CO₂e, en 1970, a poco más de 600 mil Gg CO₂e, en 2010 (JRC/PBL, 2012).

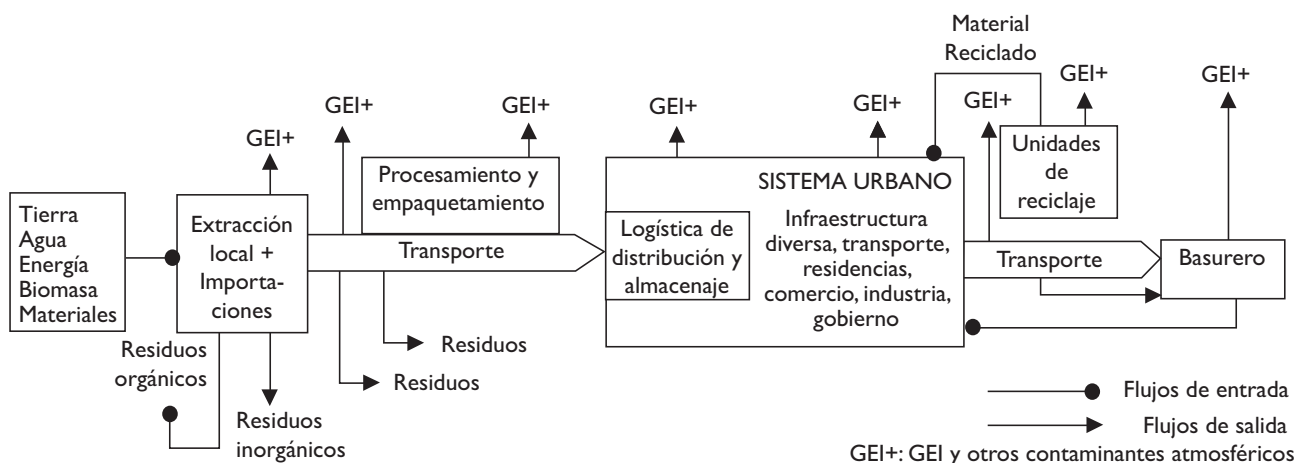
Metabolismo urbano y cambio climático

Los espacios urbanos, principales emisores de residuos y contaminantes, en general, pueden analizarse como sistemas abiertos a los flujos de materiales y energía, esto es, que toman energía y materiales fuera del sistema (urbano) y que desechan energía disipada y materiales degradados (véase Figura 1).

Se trata, pues, de un proceso entrópico —de degradación de la energía y la materia— visible en el deterioro de la infraestructura y que se acelera conforme se extiende la capa urbana, pero también a causa de la existencia de infraestructura no apta, como 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.

Diversos análisis metabólicos han sido realizados desde que Wolman (1965) hiciera la primera aproximación empírica para el caso de una ciudad estadounidense hipotética de un millón de habitantes. Los estudios realizados cubren en

Figura 1
Diagrama de flujos de materiales y de energía de los sistemas urbanos



Fuente: Elaboración propia.

especial casos de ciudades de países desarrollados y se enfocan en varios o ciertos flujos metabólicos (agua, alimentos, energía, etcétera). La contribución de Baccini y Bruner (1990; 2012) como precursores teórico-metodológicos y, más adelante, de otros como Bettini (1998), Kennedy *et al.* (2007, 2009 y 2011) o la de 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.* (2011) es referencia obligada, en tanto que ofrece un metaanálisis de las publicaciones en el área; mientras que el de Minx *et al.* hace una valoración del tema desde la perspectiva europea. 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.

Probablemente, los estudios más acabados son para las ciudades de Tokio (Hanya y Ambe, 1976) y Hong Kong (Newcombe *et al.*, 1978; Boyden *et al.*, 1981). El caso de Hong Kong, en particular, ofrece interesantes resultados sobre los patrones metabólicos de dicho asentamiento urbano a lo largo del tiempo: la ciudad sólo produce 5% de sus alimentos, mientras que sus importaciones, entre 1971 y 1997, aumentaron —para el caso de los plásticos— 400%; para el cemento, 300%; y para el acero/hierro y papel, 275%. Asimismo, la cantidad de basura generada aumentó de 1.28

kg per cápita, en 1991, a 1.36 kg, en 2007, al alcanzar el total de 6.5 millones de toneladas métricas de residuos ese último año (Newcombe *et al.*, 1978). El consumo energético y las emisiones de GEI también aumentaron. En 1990, la ciudad usó 240 Tj de energía final y emitió 34 mil 200 Gg de CO₂. En 2005 esos montos ascendían a 286 Tj y 38 mil 100 Gg de CO₂ (Newcombe *et al.*, 1978).

En América Latina ha sido analizado con detalle el caso de Bogotá (Díaz, 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, 2013a). Derivado de tales análisis, vale precisar que si se considera a la población como único criterio, las zonas metropolitanas de Buenos Aires y Río de Janeiro deberían ser metabólicamente hablando similares, mientras que lo mismo aplicaría para la ZMMV y São Paulo. Desde luego, las condiciones biofísicas, el tipo de uso de suelo y otras características producen variaciones importantes (véase Tabla 2), pero en todos los casos se corrobora un aumento del metabolismo urbano en los últimos años. El caso de la Ciudad de México en materia de energía es revelador en tanto que pasó de un consumo de 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).

Tabla 2
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
São Paulo	11.31 (20*)	7,492 (2,492*)	~277.8 **	290	186.8 191	1.99	2.91	4.1	120	0.93
Río 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*)	21,276	228.7	428	171	1.82	1.99	5.17	192	0.76

* Estimación a escala metropolitana.

** Estimación optimista.

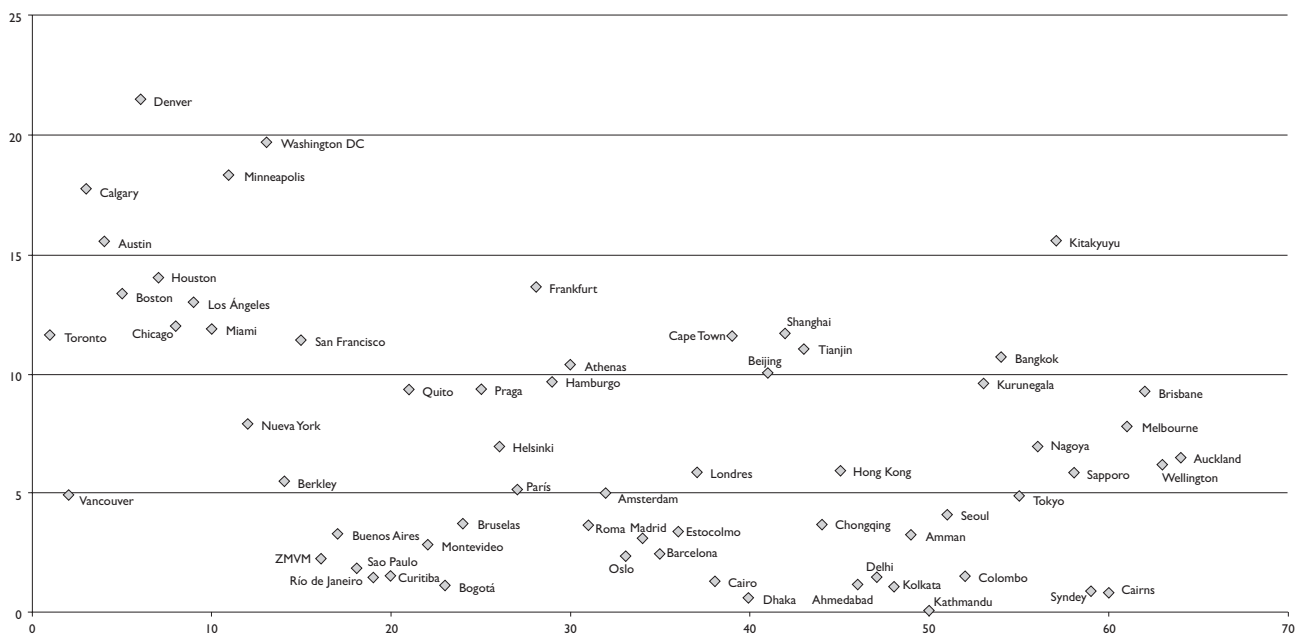
*** Incluye fugas de agua, agua de lluvia y otras fuentes irregulares.

Fuente: Elaboración propia con base en Delgado, 2013a.

La cuestión del creciente metabolismo urbano es central, pues su contexto y el análisis del estado de situación actual y de su proyección futura nos permitirá modelar rutas más o menos eficientes en el uso de los recursos y en la generación de residuos, para así enfocar esfuerzos, por ejemplo, por medio de la planificación de los procesos metabólicos desde el mismo diseño de tales o cuales infraestructuras (o del *stock* urbano), por medio de incentivos o, incluso, 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 luego incluye la imperante necesidad de reducir las emisiones de GEI, mismas que a nivel mundial, tal y como se muestra en la Figura 2, son variables de ciudad a ciudad.

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; no obstante, la calidad del líquido sí es en diversos grados una variable que requerirá aún más atención, tanto para la ZMVM como en 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, eficientes e, idealmente, haciendo uso de energía renovable. Por otro lado, si bien las aguas residuales son en la mayor parte tratadas en las dos megaciudades brasileñas

Figura 2
Emisiones per cápita de gases de efecto invernadero de diversas ciudades (toneladas)



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

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

estudiadas (al menos en un cierto grado), éste no es el caso de Buenos Aires y la Ciudad de México, por lo que ahí se requiere implementar acciones crecientes en dicho rubro (Delgado *et al.*, 2012).

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 São Paulo, debido al gran volumen generado, la gestión de residuos debería aumentar el reciclaje como producto de la planeación de minería urbana e impulsar la composta y generación de biogás para la producción de energía eléctrica. Esto último es una acción ciertamente desaprovechada para el caso de la Ciudad de México, pero no así en el caso de São Paulo, donde es una de las principales medidas de mitigación del plan de acción climática de la ciudad.

Minería urbana y cambio climático

Como consecuencia de la creciente generación de residuos y debido a la escasa o insuficiente gestión para la recuperación y el reciclaje, los espacios de disposición final se están reduciendo. Asimismo, las opciones para emplazar nuevos depósitos son cada vez más limitadas y socio-ambientalmente más cuestionadas o socialmente en disputa. La incineración de basura, por su parte, ha resultado costosa, tanto económica como ambientalmente, ya que se generan grandes cantidades de cenizas que también se tornan en un material que hay que disponer de forma adecuada.

Así, en el planteo de soluciones resulta fundamental tomar nota de las leyes de la termodinámica, pero en particular lo referente a la materia. Debe recordarse que ésa tiende a disiparse en un ritmo u otro; a diferencia de la energía, la materia puede ser re-ordenada, siempre con costo energético de por medio. Esto es por lo que el reciclaje —como todo proceso de gestión de la basura— no es energética y ambientalmente gratuito. Siempre tendrá un costo, aunque en muchos casos menor al correspondiente a la obtención de materiales “frescos”. Por tanto, la mejor y más eficiente medida de manejo de residuos es evitar su generación.

Evitar generar basura implicaría la relativa reducción de los patrones de consumo y, por tanto, la ruptura con la idea del consumismo como signo de bienestar y prosperidad; al tiempo que obligaría la implementación de un conjunto de acciones complementarias, pero no por ello menos relevantes, como la extensión del tiempo de vida de los productos, el ajuste del diseño de los mismos para

un uso menor y un reciclaje mayor de materiales, el re-uso de materiales, etcétera.

En lo que respecta a los RSU, un primer paso es la ampliación del reuso y el reciclaje de materiales multi-temporal y espacialmente planificado. Con un mundo mayoritariamente urbano, los RSU, más allá de ser meramente basura, cada vez más se vuelven importantes reservas de materiales que pueden ser minados no sólo mediante el reciclaje de los flujos inmediatos de salida de materiales, sino además a partir de la disposición y concentrado de sustancias para hacerlas técnica y económicamente viables en el futuro próximo (Baccini y Bruner, 2012).

La minería urbana requiere entonces de un conocimiento fino acerca del proceso metabólico de los materiales dentro de los sistemas urbanos para poder planificar en el tiempo y el espacio su momento de salida, potencial reuso o reciclaje inmediato o posterior. Demanda, por tanto, el manejo precautorio y planificado en el tiempo y el espacio, considerando cantidades, cualidades y complejidad de los residuos (en términos de las sustancias que los componen); además de una perspectiva distinta al típico manejo de residuos que se ocupa de gestionar los flujos inmediatos de residuos de manera linear, procurando en un grado u otro ciertas medidas de reciclaje y recuperación de materiales y de energía incorporada (vía incineración, por ejemplo).

Por lo dicho, se torna clave conocer cuáles son los principales materiales que están acumulados en viejos asentamientos o infraestructuras cuya vida útil está por terminar. Se trata de un *stock* de materiales (y sustancias tóxicas) que excede el total de residuos hoy día producidos (Baccini y Bruner, 2012) y que, en efecto, es mucho mayor en los países desarrollados, que en los países en desarrollo (Graedel et al., 2010). En tal sentido, se puede afirmar que mientras los asentamientos urbanos emergentes demandarán cada vez mayores recursos frescos, los asentamientos consolidados podrán aprovechar su *stock* existente desarrollando rutas de minería urbana, en especial de materiales clave como papel y cartón, plásticos y metales (hierro, acero, aluminio y cobre); ello pese a que son sólo una pequeña proporción frente a los silicatos y carbonatos, que constituyen entre 80% y 90% del *stock* de las ciudades, en términos de volumen (Baccini y Bruner, 2012).

La Tabla 3 muestra estimaciones del potencial de la minería urbana, en términos de reducción de emisiones de efecto invernadero. El potencial de mitigación para la región va de 500 mil toneladas de CO₂e a 3 millones de toneladas de CO₂e. Materiales como el papel, cartón, plástico y aluminio figuran como los de mayor potencial, en términos de mitigación de emisiones.

Tabla 3
Potencial de mitigación de la minería urbana en ciertas ciudades latinoamericanas

Material	Potencial de ahorro por tonelada de RSU en kg CO ₂ e (Promedio de AL)	Potencial de ahorro de emisiones asumiendo el 100% del minado de materiales con base en datos de generación de RSU de 2010 (millones de toneladas de CO ₂ e)				
		Buenos Aires (1,825,000 tons) ¹	Río de Janeiro (2,187,026 tons) ²	São Paulo (3,629,144 tons) ²	Bogotá (2,372,500 tons) ³	Lima (3,262,625 tons) ⁴
Papel y cartón	397 - 95	0.724 - 0.173	0.868 - 0.208	1.44 - 0.344	0.942 - 0.225	1.295 - 0.310
Plástico	131 - 0	0.239 - 0	0.286 - 0	0.475 - 0	0.310 - 0	0.427 - 0
Aluminio	157	0.286	0.343	0.570	0.372	0.512
Acero	15	0.027	0.032	0.054	0.035	0.049
Vidrio	18	0.033	0.039	0.065	0.042	0.058
Biomasa	25	0.045	0.054	0.09	0.059	0.081
Total		1.354 - 0.564	1.622 - 0.676	2.694 - 1.123	1.76 - 0.733	2.422 - 1.01

Total de RSU: ¹ <www.buenosaires.gov.ar>; ² <www.snis.gov.br>; ³ <www.alcaldiabogota.gov.co>; ⁴ <www.sinia.minam.gob.pe/public/docs/337.pdf>.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de entidades oficiales locales.

Tabla 4
Potencial de mitigación de GEI por minería urbana de RSU en la Ciudad de México

Material	Potencial de mitigación por tonelada de RSU generada en México* (en kg de CO ₂ e)	Potencial de mitigación para la Ciudad de México, asumiendo 100% del reciclaje de los materiales recuperables (millones de toneladas de CO ₂ e)	
		Para 2010**	Para 2025**
Papel	375 - 90	1.72 - 0.41	1.91 - 0.59
Plástico	60 - 0	0.27 - 0	0.3 - 0
Aluminio	150	0.69	0.76
Acero	15	0.069	0.076
Vidrio	30	0.13	0.15
Biomasa	26.5	0.12	0.13
Total		2.99 - 1.42	3.32 - 1.70

* Promedio nacional: biomasa (51%); papel y cartón (15%); plásticos (6%); vidrio (6%); metales (3%); otros (19%).
** Total de RSU para el año 2010 estimado en 12,590 tons/día; para 2025, en 14,000 tons/día.

Fuente: Elaboración propia con base en datos oficiales de generación actual de residuos, proyecciones de crecimiento poblacional a 2025 para la Ciudad de México y datos de ahorro de emisiones por reciclaje de ISWA, 2009.

En el caso de la Ciudad de México, el flujo de residuos sólidos urbanos recolectados asciende a 12.6 mil toneladas métricas al día (60% inorgánico). De éstas, sólo 4% del total de la biomasa generada, en 2011, fue transformada en composta, mientras que 35% de los residuos inorgánicos fueron reciclados. Según se informa, los porcentajes de reciclaje por material fueron: 90% los metales ferrosos, 75% vidrio, 48% metales no ferrosos, 39% cartón, 35% latas,

15% papel y 23% plásticos (sin contar PET, PELD, PEHD, PP, PS y PC, que son considerados residuos de manejo especial) (SMA-DF, 2011).

El potencial de mitigación por emisiones ahorradas o evitadas a partir de la minería urbana de 100% de los principales materiales recuperables de los residuos sólidos generados se estima podría ser entre 1.7 y 3.32 millones de toneladas de CO₂e, equivalente a 3.3% y 6.5% del total de emisiones de la Ciudad de México de 2008 (véase Tabla 5). El potencial acumulado de 2010 a 2025 sería de 23 a 47 millones de toneladas de CO₂e, pero por supuesto dependería del porcentaje efectivamente minado, la tecnología de reciclaje empleada y si los residuos son o no incinerados, además de si se implementan sistemas de recuperación de energía.

A los residuos anteriores se suman 6 mil 974 toneladas diarias de residuos de la construcción, de las cuales 419 o 6% son recicladas (con base en datos de 2008) (SMA-DF, 2008 y 2011). El total de materiales de construcción reciclados de 2005 a 2011 sumó así 1.07 millones de toneladas (SMA-DF, 2008 y 2011). Debe precisarse que de esos 2.5 millones de toneladas de residuos de la construcción generados cada año, cerca de la mitad se disponen sin control alguno, de ahí que se identifiquen al menos 168 tiraderos clandestinos de ese tipo de residuos, 36 de los cuales son de gran preocupación (SMA-DF, 2008; PAOT, 2010). Las delegaciones Tláhuac y Álvaro Obregón concentran 89.6% de tales residuos clandestinos, cada uno con más de 500 mil m³. La relevancia de recuperar

tales materiales es que 55% de la superficie afectada es suelo de conservación, mientras que el resto es suelo urbano, lo que también afecta la calidad de vida de la población local (PAOT, 2010).

La minería urbana de 100% de los materiales de construcción emitidos por la Ciudad de México se estima entre 590 mil y 1.7 millones de toneladas de CO₂e cada año, esto es un ahorro de emisiones de GEI, entre 2010 y 2025, de entre 8.85 y 25.5 millones de toneladas de CO₂e, si se asume un flujo constante de residuos de la construcción de 2.5 millones de toneladas anuales (véase Tabla 5).

Tabla 5
Potencial de mitigación de GEI por minería urbana de materiales de construcción en la Ciudad de México

Material de construcción	Kg de CO ₂ incorporado por tonelada métrica	Promedio total de material de construcción generada al año* (millones de tons)	Potencial total de mitigación por CO ₂ incorporado** (millones de tons)
Ladrillo	850 - 232	1.35	1.147 - 0.313
Concreto	134 - 116	0.3	0.040 - 0.034
Asfalto	185 - 177	0.125	0.23 - 0.022
Metales (sobre todo aceros)	3000 - 2000	0.0625	0.187 - 0.125
Arena y grava	8 - 5	0.1	0.0008 - 0.0005
Piedra	16	0.125	0.002
Madera	750 - 101	0.1	0.075 - 0.01
Plásticos (sobre todo PVC)	2,400	0.0375	0.09
		Total	1.77 - 0.59

* Con base en un flujo de salida constante de 2.5 millones de toneladas de materiales de construcción al año.

** Las emisiones derivadas de la energía usada para el reciclaje deben ser sustraídas.

Fuente: Elaboración propia con datos de carbono incorporado de Calkins, 2009, y de flujos y composición de residuos de la construcción PAOT, 2010.

Reflexiones finales

El potencial de la minería urbana para la mitigación del cambio climático es relevante, mucho más si se toma nota de los cobeneficios ambientales y a la salud. Por ello, se considera como una acción que debería acompañar de modo creciente otras relacionadas como, por ejemplo, a la

captura de biogás o a la reducción en la propia generación de residuos.

El análisis del estado de situación de la generación y tipos de residuos; de la estructura de gestión y disposición (regular e irregular); de las tecnologías para la disposición, reciclaje o captura de biogás, entre otras; del potencial de mitigación ambiental y climática resultante del flujo actual y futuro de residuos municipales, incluyendo los de la construcción y el parque vehicular (es decir, el *stock* material urbano)⁴; entre otros datos y aspectos, claramente es central para ayudar a respaldar acciones integrales concretas que contemplen lo ambiental, lo climático, lo social e, incluso, alternativas de disponibilidad de recursos en un futuro próximo que promete reservas materiales (y energéticas) de fácil acceso y baratas decrecientes.

Lo antes dicho es de interés para los diversos niveles de gobierno, sin embargo la escala municipal debe ser más relevante, en tanto que es la que usualmente asume la responsabilidad y la gestión de los residuos y sus implicaciones. Es de notarse que mucha de la gestión realizada, en el mejor de los casos, deriva de una planificación de corto plazo, sin coordinación intermunicipal a escala regional y sobre la base de muy poca y/o mala información.

De este modo, se suma el hecho de que, pese a tratarse de una problemática mayor, aún se siguen elaborando normas mexicanas referentes a muestreo, cuarteo, peso volumétrico, subproductos y generación per cápita de residuos. Además, persiste un marco legal insuficiente que a escala municipal incluso llega a desdibujarse, pues sólo 13 de las 32 entidades federativas de México han formulado sus propias leyes con base en lo dispuesto en la *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos* (de carácter federal), al tiempo que cuentan con sus respectivos reglamentos. Siete entidades estatales no cuentan con reglamentos en la materia y el resto regula los residuos a partir de algún tipo de código o de ley ambiental (INECC, 2012: 45). A nivel municipal la brecha regulatoria es mayor, pues sólo poco más de 400 municipios tienen alguna legislación específica en materia de gestión de residuos (las

⁴ Si bien en este trabajo no se analizó para el caso de México el potencial de la minería de residuos de manejo especial y que incluye, además de plásticos de diversa índole, el *stock* vehicular de desecho con importantes cantidades de metales recuperables, debe señalarse su importancia y, por tanto, la pertinencia de su inclusión en estudios posteriores.

más usuales relativas a operaciones de limpia y sanidad y bando municipal). Al mismo tiempo, más de 900 municipios no cuentan con legislación específica en la materia (INECC, 2012: 50-51).

La ecología política urbana, en general, incluyendo su enfoque en el metabolismo urbano de los residuos, permite una mirada compleja y crítica sobre la problemática para permitir explorar nuevas rutas de acción eco-política dirigidas a mejorar la calidad de vida urbana del grueso de la población, esto es, procurar reducir las desigualdades existentes e incrementar la participación ciudadana y sus cuotas de poder en la toma de decisiones (y con ello disputar las estructuras de poder imperantes). Se trata de una participación y proceso de toma de decisiones que debería ser cada vez más informado, contexto en el que la información lineal y los análisis focalizados ya no son suficientes ante la complejidad y extensión del reto que implica la creciente urbanización de los territorios y el consecuentemente aumento de los flujos de energía y materiales demandados. Se precisa, por tanto, información y valoraciones resultantes de aproximaciones interdisciplinarias con mirada integral, multiescalar y multiespacial, donde el rol de los expertos sigue siendo central, pero que ha de ser enriquecido también con otras formas de conocimiento local.

A escala nacional, la ecología política de la basura es igualmente importante para dar cuenta de la problemática que acarrear los usos indeseables del suelo provocados por una creciente generación de desechos nacionales (incluyendo actividades por parte de industrias foráneas en México), pero también internacionales y que se suman mediante eventuales flujos de residuos —exportación de basura— o de mercancías en fase de uso avanzada y cuya disposición se perfila en el corto plazo a cargo del país (por ejemplo, la importación de autos usados provenientes de EE.UU.).

La necesidad de mayores y más finos análisis es, pues, un imperativo frente al reto que acarrea la creciente generación de residuos en momentos de una mayor presión a los ecosistemas y en sí de los ciclos biogeoquímicos del planeta. El presente ejercicio es, en el mejor de los casos, una primera aproximación.

Referencias

- Baccini, P. y Bruner, P. (1990). *Metabolism of the Anthroposphere*. Cambridge, MA. / Londres: MIT Press.
- Bettini, Virginio (1998). *Elementos de ecología urbana*. Madrid: Trotta.
- Boyden, S.; Milla, S.; Newcombe, K. y O'Neil, B. (1981). *The Ecology of a City and its People: the case of Hong Kong*. Canberra, Australia: Australian National University Press.
- Delgado Ramos, G. C. (2012). "Metabolismo urbano y transporte". En Delgado Ramos, G. C. (coord.), *Transporte, ciudad y cambio climático* (129-167). México: CEIICH-UNAM.
- Delgado Ramos, G. C. (2013a). "Climate change and metabolic dynamics in Latin American major cities". *Wessex Press*. [En prensa].
- Delgado Ramos, G. C. (2013b). "¿Por qué es importante la ecología política?" *Nueva Sociedad*, 244, 47-60.
- Delgado Ramos, G. C.; Campos Chávez, C. y Rentería Juárez, P. (2012). "Cambio climático y el metabolismo urbano de las megaurbes latinoamericanas". *Hábitat Sustentable*, 2(1), 2-25.
- Díaz Álvarez, C. J. (2011). "Metabolismo de la ciudad de Bogotá: una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental urbana". Tesis de Maestría. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Fischer-Kowalski, M. y Haberl, H. (2000). "El metabolismo socioeconómico". *Ecología Política*, 19, 21-34.
- Graedel, T. E. et al. (2010). *Metal Stocks in Society*. UNEP.
- Hanya, T. y Ambe, Y. (1976). "A study on the metabolism of cities". En Science Council of Japan, *Science for a better environment*. Tokio, Japón: HESG.
- Hoorweg, D. y Bhada-Tata, P. (2012). "What a Waste". *World Bank-Urban Development Series*, 15. Washington, D.C.: World Bank.
- Humes, E. (2012). *Garbology. our dirty love affair with trash*. Avery, EE.UU.
- INECC (2012). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos*. México: INECC-Semarnat.
- International Solid Waste Association (ISWA) (2009). *Waste and Climate Change. ISWA White Paper*. Vienna, Austria: International Solid Waste Association.
- JRC/PBL (2012). *Base de datos EDGAR, versión 4.2 FT2010*. Comisión Europea. <<http://edgar.jrc.ec.europa.eu>>.
- Kennedy, C.; Pinceti, S. y Bunje, P. (2011). "The study of urban metabolism and its applications to urban plan-

- ning and design". *Environmental Pollution*, 159 (8-9), 1965-1973.
- Kennedy, C.; Steinberg, J.; Gasson, B.; Hansen, Y.; Hillman, T.; Havránek, M.; Pataki, D.; Phdungsilp, A.; Ramaswami, A. y Villalba Méndez, G. (2009). "Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities". *Energy Policy*, 38, 4828-4837.
- Kennedy, C.; Cuddihy, J. y Engel-Yan, J. (2007). "The changing metabolism of cities". *Journal of Industrial Ecology*, 11 (2), 43-59.
- Krausmann et al. (2009). "Growth in global material use, GDP and population during the 20th Century". *Ecological Economics*, 68, 2696-2705.
- Lacoste, E. y Chalmin, P. (2006). *From Waste to Resource: 2006 World Waste Survey*. Ciclope/Veolia. París, Francia.
- Minx, J.; Creutzig, F.; Medinger, V.; Ziegler, T.; Owen, A. y Baiocchi, G. (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.
- Newcombe, K.; Kalma, I. y Aston, A. (1978). "The metabolism of a city: the case of Hong Kong". *Ambio. Journal of Human the Environment*, 7(3).
- PAOT (2010). *Estudio de zonas impactadas por tiraderos clandestinos de residuos de la construcción en el Distrito Federal*. México: Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial.
- SMA-DF-Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (2008). *Inventario de Residuos Sólidos 2008*. México: Gobierno del Distrito Federal.
- SMA-DF-Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (2011). *Inventario de Residuos Sólidos 2011*. México: Gobierno del Distrito Federal.
- SMA-DF-Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (2012). *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2010*. México: Gobierno del Distrito Federal.
- Wolman, A. (1965). "The metabolism of cities". *Scientific American*, 213(3), 179-190.
- Zhang, Y. (2013). "Urban metabolism: a review of research methodologies". *Environmental Pollution*, 178, 463-473.

