**Bucle multidisciplinar para la sustentabilidad urbana**

**Multidisciplinary loop for urban sustainability**

(a) Luis Fernando Molina-Prieto, (b) Mónica Yinette Suárez Serrano, (c) María Eugenia Villa Camacho

(a) Grupo de Investigación Territorio y Habitabilidad

(b) Grupo de Investigación de Logística

(b) Grupo de Investigación Gestión y Competitividad de las Organizaciones

**Resumen**

El artículo propone el ‘Bucle Multidisciplinar para la Sustentabilidad Urbana’, el cual fue formulado a partir del análisis de: i) problemas ambientales, económicos y sociales generados por el acelerado crecimiento de las ciudades en décadas recientes; ii) inputs que requieren los procesos urbanos, industriales, económicos y humanos; y iii) outputs generados por dichos procesos. La metodología contó con cuatro momentos: planeación, revisión bibliográfica, interpretación de los resultados y formulación. Se presentan ocho conceptos que fortalecen la sustentabilidad urbana: ciclo cerrado, metabolismo urbano, economía circular, ecología industrial, red de valor, logística inversa, psicología ambiental y eco-diseño, a partir de los cuales se generó la propuesta. Se concluye que para alcanzar la sustentabilidad urbana es urgente crear vasos comunicantes entre las disciplinas que inciden de manera directa en las dinámicas que dan vida a las ciudades contemporáneas.

**Palabras clave**

Ciclo cerrado, metabolismo urbano, economía circular, psicología ambiental.

**Abstract**

The paper proposed the ‘Multidisciplinary loop for Urban Sustainability’ which was formulated from the analysis of: i) environmental, economic and social problems generated by the accelerated growth of cities in recent decades; ii) inputs required by urban, industrial and economic process; and iii) outputs generated by such that processes. The methodology had four moments: planning, bibliographic review, interpretation of the results and formulation. Eight concepts that strengthen urban sustainability we presented: closed loop, urban metabolism, industrial ecology, circular economy, value network, reverse logistics, environmental psychology and eco-design, from which was generated the proposal. We concluded that to achieve urban sustainability it is urgent to create communicating vessels between the disciplines that directly affect the dynamics that give life to contemporary cities.

**Keywords**

Closed loop, urban metabolism, circular economy, environmental psychology.

**Introducción**

El crecimiento acelerado de la población urbana ha generado graves problemas ambientales, económicos y sociales a nivel global. *Ambientales:* degradación de ecosistemas y pérdida de biodiversidad por residuos contaminantes urbanos; generación de gases de efecto invernadero; incremento del cambio climático y sus repercusiones; impacto negativo en la salud humana (Fernandez, 2009). *Económicos:* aumento de la pobreza urbana; desempleo; bajos niveles de educación; mayores tasas de delincuencia e inseguridad (Rucks‐Ahidiana y Harding, 2015). *Sociales:* exclusión social; segregación y marginalidad espacial; fragmentación urbana; inequidad social; polarización social (Musterd y Ostendorf, 2013).

En 2017 la población mundial alcanzó los seis mil seiscientos millones de habitantes, y para 2030 se espera que supere los ocho mil quinientos (United Nations, 2017). En 2014, el 54% de la población del planeta habitaba en las ciudades, en diversas proporciones, que dependen de la región: en Norte América el 82%; en América Latina el 80%; en Europa el 73%; en Asia el 48% y en África el 40% (United Nations, 2014). Con respecto a Colombia el Banco Mundial reportó en 2017 que la población urbana correspondía al 77%.

**Inputs**

Para su normal funcionamiento las ciudades requieren enormes cantidades de energía, materiales y agua. Recursos que, en su mayoría, son finitos. La energía es necesaria para el transporte, la industria, el comercio, las edificaciones, la infraestructura, la distribución de agua y la producción alimentaria. A nivel global las ciudades consumen el 75% de la energía total generada (UN-Hábitat, 2012), pero, de acuerdo con características propias como la dimensión, la extensión, la población y el nivel de desarrollo, cada ciudad requiere una cantidad de energía particular, la cual es consumida en distintas proporciones por los tres principales sectores urbanos: edificaciones, industria y transporte (ver tabla 1).

**Tabla 1. Energía consumida por cuatro ciudades de Estados Unidos** (en MMBtu[[1]](#footnote-1))

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ciudad** | **Año** | **Energía consumida** | | | |
| **Residencial** | **Industria y comercio** | **Transporte** | **Total** |
| Filadelfia | 2015 | 51.582.023 | 69.860.346 | 28.098.920 | 149.541.289 |
| Las Vegas | 2014 | 23.130.376 | 64.842.663 | 93.025.588 | 180.998.626 |
| Nueva York | 2014 | 363.383.312 | 460.081.837 | 136.109.809 | **959.574.958** |
| Washington D.C. | 2013 | 17.263.134 | 48.698.452 | 22.710.208 | 88.671.793 |

**Fuente:** elaboración propia a partir de: American Council for an Energy-Efficient Economy-ACEEE (2017).

En las ciudades de los países desarrollados, más de la mitad de la energía es consumida por el funcionamiento y el mantenimiento de la infraestructura edificada, cerca de un 30% por el transporte, y el resto, por la industria (ver gráfica 1). Según Alfonso y Pardo (2014), Bogotá —la capital de un país en desarrollo—, consumió un total de 183.715.392 MMBtu de energía en 2010, un poco más que la energía consumida por Las Vegas en 2014.

**Gráfica 1. Energía consumida en cuatro ciudades de países desarrollados** (en %)**Fuente:** elaboración propia a partir de: United Nations (2008).

En las ciudades de economías medias, más de la mitad de la energía es consumida por el transporte, el resto se distribuye —en diversas proporciones— entre las edificaciones y la industria (ver gráfica 2).

**Gráfica 2. Energía consumida en cuatro ciudades de países de ingresos medios** (en %)**Fuente:** elaboración propia a partir de: United Nations (2008).

En las megaciudades de los países en desarrollo, como China o India, la industria consume hasta un 80% de la energía (ver gráfica 3).

**Gráfica 3. Energía consumida en tres megaciudades asiáticas** (en %)**Fuente:** elaboración propia a partir de: United Nations (2008).

De otro lado, los principales materiales que requieren las ciudades, son: biomasa para la provisión de alimentos y para la producción de algunos productos de origen orgánico; combustibles fósiles —carbón, petróleo y gas natural— para generar energía; minerales metálicos y no metálicos para la industria; y materiales para la industria de la construcción: arena, piedra, arcilla e insumos para el cemento (Schaffartzik et al, 2014).

De acuerdo con Franke, Busch y Zeitz (S. F.), las sociedades agrarias consumían principalmente materiales orgánicos (biomasa), para alimentación, leña y refugio. Pero con la evolución de las civilizaciones no solo cambiaron los materiales requeridos por las ciudades, sino que se multiplicaron las cantidades requeridas. Según Schaffartzik et al (2014), la transición global de las sociedades agrarias a los regímenes industrializados está vinculada a la explotación masiva de los recursos naturales, al punto que, actualmente, la humanidad usa aproximadamente 68 gigatones-GT[[2]](#footnote-2) de materiales por año, 10 veces más que cien años atrás. En los últimos 70 años la extracción de materiales para las ciudades creció a un ritmo exponencial, especialmente en Asia y América Latina (ver gráfica 4). Con respecto a Bogotá, en 2010 se consumieron en la ciudad un total de 2.900 millones de toneladas de biomasa (alimentos) y 6 millones de toneladas de materiales de construcción (Alfonso y Pardo, 2014).

**Gráfica 4. Consumo de materiales domésticos por región** (en gigatones por año)

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Schaffartzik et al (2014).

En lo concerniente a las necesidades anuales de agua, Nueva York se destaca a nivel mundial con 10.9 millones de megalitros[[3]](#footnote-3)-ML, seguida por Guangzhou con 9.8 millones, Shanghái con 7.5 millones, Los Ángeles con 6.6 millones, Tokio con 4 millones, Mumbai con 3.9 millones, México D. F. con 3 millones, Beijing con 2.9 millones, Seúl con 2.7 millones, Osaka con 2.5 millones, Buenos Aires con 2.2 millones, El Cairo con 2.1 millones y Sao Paulo con 2.1 millones. El resto de las ciudades del mundo consumen, cada una, menos de 2 millones de ML por año (Kennedy et al, 2015). De acuerdo con funcionarios de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en 2016 se realizó una provisión neta real de agua de 110 litros por habitante/día (Jiménez y Santana, 2017), es decir, la ciudad consumió ese año 0,321 millones de ML (ver gráfica 5).

**Gráfica 5. Comparativo: consumo de agua en siete ciudades**

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Kennedy et al (2015) y Jiménez y Santana (2017).

**Outputs**

La energía, los materiales y el agua son transformados al interior de las ciudades para generar bienes o servicios que permitan mantener el normal funcionamiento de la vida urbana. Pero al transformarlos, se generan una serie de externalidades no deseadas: i) emisiones contaminantes generadas por fuentes fijas y móviles; ii) residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos) resultantes de procesos industriales, comerciales y residenciales; iii) escombros generados por la industria de la construcción o por demolición de edificaciones obsoletas; y iv) residuos líquidos provenientes de la industria, la vivienda, el comercio y otras actividades, como las recreativas o las educativas.

En directa relación con las características de cada ciudad —dimensión, extensión, población y nivel de desarrollo—, se genera una cantidad específica de externalidades. Por ejemplo: en lo concerniente a las emisiones de efecto invernadero, Nueva York originó el equivalente a 55 millones de toneladas de CO2 en 2011; México D. F. 30.7 millones en 2012; Buenos Aires 15.6 millones en 2008, y Bogotá 6.7 millones en 2014. En cuanto a residuos sólidos, Nueva York produjo 14 millones de toneladas en 2014; México D. F. 4.7 millones en 2015; Buenos Aires 4.8 millones en 2010; y Bogotá 2.3 millones en 2014 (ver gráfica 6). Además, Bogotá generó 223 millones de metros cúbicos de aguas residuales en 2014, y 12 millones de toneladas de escombros ese mismo año (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2009; González, 2010; City of New York, 2011; Gobierno de la Ciudad de México, 2012, 2015; Alfonso y Pardo, 2014).

**Gráfica 6. Comparativo: producción de residuos sólidos en cuatro ciudades**

**Fuente:** Elaboración propia a partir de varias fuentes.

Teniendo en cuenta que la explotación masiva de los recursos naturales es totalmente insustentable, puesto que el sistema mundo está confinado a un área limitada, y por ende, es finito; y considerando que el vertimiento de gases contaminantes en la atmósfera, el derrame de residuos líquidos en lagos, ríos y océanos, y la descarga de residuos sólidos en la biósfera es perjudicial no solo para los ecosistemas y la biodiversidad sino además para la especie humana, el artículo propone el modelo ‘bucle multidisciplinar para la sustentabilidad urbana’.

**Metodología**

La investigación contó con cuatro momentos: i) elaboración del modelo de procedimiento, establecimiento de la ventana de tiempo, selección de muestra e instrumento de análisis: se estableció como modelo de procedimiento la revisión sistemática de libros y artículos científicos; se fijó una ventana de tiempo que inicia con la primera revolución industrial en el siglo XVIII —porque con ella empezó la explotación masiva de los recursos naturales para abastecer las nacientes ciudades industriales, al tiempo que se vertían en el ambiente enormes cantidades de externalidades producto de los procesos industriales y urbanos— y se extiende hasta el 2017; se estableció una ciudad para realizar el muestreo —de datos concernientes a requerimientos de energía, materiales y agua, así como a la generación de externalidades—: Bogotá, por ser la ciudad sobre la cual se centran los objetivos de la investigación[[4]](#footnote-4); y se dispuso el análisis comparativo como instrumento de análisis; ii) obtención de conocimiento sobre el objeto de estudio: se realizó una búsqueda no aleatoria, sino sistemática[[5]](#footnote-5) de propuestas teóricas cuyo objetivo fuese el fortalecimiento de la sustentabilidad urbana —en correspondencia con la ventana de tiempo previamente definida—, haciendo énfasis en las que buscan reducir la demanda de energía, materiales y agua por parte de las ciudades, así como las que pretenden minimizar la producción de externalidades negativas; iii) análisis de la información e interpretación de los resultados; y iv) formulación de la propuesta ‘Bucle Multidisciplinar para la Sustentabilidad Urbana’.

**Resultados**

Si bien la investigación fue formulada desde tres disciplinas principales —arquitectura, ingeniería industrial y psicología—, no se establecieron limitantes frente a otros campos de conocimiento: se adelantó una exploración en diversos campos disciplinares, interdisciplinares y multidisciplinares. Tras dicha indagación, se seleccionaron ocho conceptos teóricos[[6]](#footnote-6) que surgieron de las matemáticas y la geometría, la teoría de grafos, la teoría de sistemas, las ciencias de la salud, la ingeniería sanitaria, el urbanismo, la planificación urbana, la ingeniería industrial, la ecología, la economía, el diseño industrial, el comercio, la psicología y la arquitectura, entre otras disciplinas; los cuales se presentan a continuación en orden cronológico a partir de su fecha de concepción. De cada uno de ellos se esboza una sucinta descripción de sus orígenes y evolución.

**1. Ciclo cerrado**

El concepto de ciclo cerrado surgió en los fértiles campos de la matemática y la geometría del siglo XVIII. Fue el suizo, Leonard Euler quien propuso en 1735 un circuito o ‘camino cerrado’, que recorre cada arista de un polígono establecido, exactamente una vez, para dar respuesta al famoso problema de los puentes de Königsberg,[[7]](#footnote-7) creando de manera paralela, la teoría de grafos. Más recientemente, la teoría de sistemas, planteada por Bertalanffy, formuló dos tipos de sistemas: los abiertos y los cerrados. La termodinámica se aplica específicamente sobre los cerrados (Von Bertalanffy, 1993).

El concepto de ciclo cerrado (*closed loop* en inglés) se aplica actualmente a incontables campos disciplinares: robótica, informática, inteligencia artificial, medicina, confort térmico, ventilación mecánica, control termodinámico y redes de valor, entre otras. Según Guide y Van Wassenhove (2009), a mediados de la década de 1990 se establecieron los fundamentos del concepto de ciclo cerrado en el campo de la ingeniería industrial, y desde entonces se aplican a una variedad de actividades de recuperación: adquisición de productos usados, logística inversa, re-manufactura, reparación y re-marketing, entre otras. Estos autores proponen cinco (5) fases en la evolución del concepto y su aplicación en la ingeniería industrial: i) *La era dorada de la re-manufactura*, que tuvo su auge en los primeros años de la década del 1990; ii) *De la re-manufactura a la valoración de la logística inversa*, que cobró importancia durante los primeros años del presente siglo y contribuyó de manera fundamental a la solución de una serie de problemáticas económicas y ecológicas; iii) *Coordinando la cadena de suministro inversa*, que proporcionó una mayor comprensión para el diseño de los canales descendentes y ascendentes, permitió tomar mejores decisiones en el flujo de productos ‘aguas arriba’, facilitó la interacción entre productos nuevos y re-manufacturados, y redujo las tasas de retorno de los clientes de primer nivel; iv) *Cerrando el ciclo*, perspectiva de diseño integrado que tiene implicaciones importantes en el mercado, pero exige el reconocimiento y la participación de un gran número de actuantes independientes que necesitan ser coordinados para lograr el potencial económico del sistema; y v) *Precios y mercados*, fase actual que ha vinculado al concepto una amplia variedad de disciplinas, puesto que si no se comprenden completamente los precios y los mercados, se pueden convertir en barreras o limitantes, sin importar cuán bien se diseñe el sistema operativo. Esta fase, apenas está comenzando y su punta de lanza son los mercados verdes.

**2. Metabolismo urbano**

El concepto de ‘metabolismo urbano’ fue acuñado por el científico, inventor y profesor norteamericano, Abel Wolman, quien divulgó sus ideas en un artículo titulado *The Metabolism of Cities*, publicado en 1965. Wolman planteó dos cosas: i) que las ciudades cuentan con una serie de necesidades metabólicas para sustentar a sus habitantes, como alimentos, combustible, ropa, bienes duraderos, materiales de construcción, energía eléctrica, entre otras muchas; y ii) que el ciclo metabólico solamente se completa cuando los residuos y desechos originados por las actividades diarias son retirados y eliminados sin generar peligros o incomodidades a los habitantes de las ciudades. Wolman cuestionó los métodos tradicionales empleados en las ciudades norteamericanas para eliminar residuos; señaló los altos índices de contaminación del aire y el agua; y centró su estudio en lo que denominó los tres problemas metabólicos más agudos: la provisión de un suministro adecuado de agua, la eliminación efectiva de las aguas residuales y el control de la contaminación del aire (Wolman, 1965). La propuesta de Wolman fue desestimada por la comunidad científica durante varias décadas, pero de manera reciente, ha cobrado gran interés por parte de planificadores y otros estudiosos de los fenómenos urbanos que han rescatado y revalorado el metabolismo urbano. Actualmente se considera fundamental para el desarrollo de ciudades y comunidades sustentables. Kennedy, Pincetl y Bunje (2011) definen el metabolismo urbano como la suma total de los procesos técnicos y socioeconómicos que se producen en las ciudades, y que se materializa en el crecimiento urbano, la producción de energía y la eliminación de todo tipo de residuos. Otros autores —aparte de los materiales, la energía y el agua— vinculan al metabolismo urbano variables socioeconómicas, además de vectores contaminantes, como los flujos de carbono (González, Donnelly, Jones, Chrysoulakis y Lopes, 2013). Otra línea de trabajo lo emplea como herramienta para acceder a sistemas de planificación urbano-regional más sostenibles, puesto que permite comprender la manera en que el desarrollo urbano impacta al ambiente local, regional y global (Conke y Ferreira, 2015). Por último: otros investigadores proponen un novísimo concepto, el ‘metabolismo urbano inteligente’, que gracias a las TIC, permite valorar los flujos urbanos de materia y energía en tiempo real (Shahrokni, Lazarevic y Brandt, 2015).

**3. Economía circular**

En 1970 Kneese, Ayres y D’Arge publicaron el libro *Economics and the Environment: A Materials Balance Approach*, señalando los efectos negativos de las externalidades industriales sobre el ambiente. Hacían énfasis en que, para el hombre primitivo, el mundo y sus recursos eran ilimitados, pero para las civilizaciones del siglo XX, habían dejado de serlo. Plantearon el concepto de ‘equilibrio material’, proponiendo que la gestión y el encausamiento del flujo de materiales, correspondiera directamente con su valor económico. En 1990 el economista inglés, David Pearce, introdujo el concepto de economía sustentable, verde o ambiental, que controvertía las teorías económicas neoclásicas caracterizadas por su marcado enfoque antropocéntrico; y desde esa nueva perspectiva ambiental, definió cuatro funciones básicas que aporta el ambiente: i) valores de comodidad; ii) recursos naturales; iii) depósito o sumidero de residuos; y iv) soporte de todas las formas de vida. Pearce publicó una serie de libros en colaboración con otros investigadores, sentado las bases de la economía circular, a la cual vinculó 12 variables: producción, consumo, bienes de capital, utilidad, recursos naturales, reciclaje, residuos, recursos agotables, recursos reciclables, capacidad asimilativa, cosecha y rendimiento (Pearce, Markandya y Barbie, 1989; Pearce y Turner, 1990).

Recientemente el campo de la economía circular se ha desarrollado significativamente. Preston (2012) esboza con claridad sus principales alcances: i) permite transformar la función de los recursos en la economía; ii) los residuos industriales se convierten en insumos para otras industrias; iii) al concluir su ciclo de vida, los productos pueden ser reparados, reutilizados o mejorados, en lugar de desechados; iv) en un mundo caracterizado por los altos y volátiles precios de los recursos, ofrece enormes oportunidades de negocios; v) si se acelera su implementación a través de políticas públicas, puede contribuir a la mitigación del cambio climático, la escasez de agua y otros desafíos globales; y vi) puede contribuir a aliviar las preocupaciones concernientes al acceso de recursos e insumos. Por su parte, Ghisellini, Cialani y Ulgiati (2015), señalan que la transición hacia la economía circular acaba de empezar, y su marco interdisciplinario ofrece buenas perspectivas de mejoramiento (o cambio) para los actuales modelos de producción y consumo, que debido al impacto ambiental y la desigualdad social que generan, actualmente se consideran obsoletos. Para Genovese, Acquaye, Figueroa y Koh (2017) la economía circular debe crear “sistemas de producción autónomos en los que los materiales se utilizan una y otra vez” (p. 344). Estos autores, al igual que otros muchos, subrayan la estrecha relación entre economía circular y ecología industrial.

**4. Ecología industrial**

De acuerdo con Watanabe (1994), el término ‘ecología industrial’ fue acuñado en 1971 por un grupo de investigación del MITI (*Ministry of International Trade and Industry*) del Japón. Desde entonces define la política industrial de ese país a partir de los siguientes postulados: i) reconocer los límites del sistema [mundo], puesto que en su extremo, está confinado a un área limitada: el planeta tierra; ii) reconocer las relaciones internas del sistema, pues cada una de las sustancias orgánicas e inorgánicas contribuye a la estabilidad de los ciclos naturales del planeta, a través de relaciones complejas; iii) reconocer las externalidades del sistema, pues ellas desempeñan un papel muy importante en el mantenimiento del equilibrio/desequilibrio del sistema; iv) reconocer las relaciones causa-efecto del sistema, especialmente las establecidas entre las actividades humanas y el ambiente, para mantener el equilibrio; y v) reconocer las necesidades de autocontrol, buscando el equilibrio ideal entre las actividades humanas y los límites operativos del sistema.

Cabe subrayar que el concepto de ecología industrial se deriva de dos disciplinas: la ecología y la teoría de sistemas. Bajo los postulados de esas dos disciplinas busca estudiar el desarrollo y el comportamiento de los sistemas industriales, haciéndolo desde el enfoque de los patrones de evolución de los sistemas naturales, lo que incluye: ciclo cerrado de materiales, principios evolutivos, resiliencia de los sistemas y retroalimentación dinámica (O’Rourke, Connelly y Koshland, 1996). Aunque son muchos los autores que han realizado aportes al concepto de ecología industrial, los objetivos que estableció John Ehrenfeld en 1994, continúan vigentes: i) mejorar las vías metabólicas para los procesos industriales y el uso de los materiales; ii) crear ecosistemas industriales de ciclo cerrado; iii) desmaterializar la producción industrial; iv) sistematizar los patrones de uso de energía; v) equilibrar los insumos y los productos industriales con la capacidad de los ecosistemas naturales; vi) alinear la política para ajustarse a la evolución del sistema industrial a largo plazo; y vii) crear nuevas estructuras para acciones coordinadas, con vínculos comunicativos y de información (p. 16).

**5. Red de Valor**

Según Gibson, Hanna, Deffe y Chen (2014), la ‘red de valor’ tuvo sus orígenes en la década de 1980, en los campos de la distribución y la comercialización, y posteriormente, empezó a incluir otros eslabones de la cadena productiva. Desde la perspectiva organizacional, la red de valor surgió de integrar una amplia variedad de actividades relacionadas entre sí, pero que inicialmente estaban fragmentadas. En cuanto a definiciones, para Christopher (1992), se trata de una red de organizaciones que están involucradas a través de enlaces ascendentes y descendentes, en los diferentes procesos y actividades que producen valor en forma de productos y servicios entregados al consumidor final. Por su parte, el *Council Supply Chain Management Professionals* (2010), entiende el concepto como el intercambio de materiales e información en el proceso logístico, que se extiende desde la adquisición de materias primas hasta la entrega del producto terminado para el usuario final. Todos los vendedores, proveedores de servicios y los clientes son eslabones de la red de valor. De otro lado, Coyle, Langley, Novak y Gibson (2013) definen la red de valor como una serie de empresas integradas que deben compartir información y coordinar la ejecución física para asegurar un flujo de bienes, servicios, información y dinero de forma efectiva. Otros autores, como Stock y Boyer (2009) vinculan una multiplicidad de integrantes y canales al concepto de red de valor. Destacan los flujos de recursos, hacia adelante y hacia atrás o ‘aguas abajo’ y ‘aguas arriba’, y señalan que es gracias al funcionamiento y la dinámica del sistema, que involucra a todos los participantes de la(s) red(es), como se logran suplir los requerimientos del cliente. Por último, cabe subrayar que no existen redes de valor iguales, sus diferencias dependen de factores como su estructura, la industria y el sector al que pertenecen, el alcance geográfico de la actividad, la variedad de productos, los métodos de cumplimiento y los patrones de demanda.

**6. Logística Inversa**

Una de las primeras descripciones de ‘logística inversa’ la realizaron —desde la ingeniería industrial— Lambert y Stock en 1981: “Ir en la dirección equivocada en una calle de sentido único, porque la gran mayoría de envíos de productos fluyen en una dirección”. Esta descripción se asemeja a la planteada por Murphy y Poist en 1989: “movimiento de bienes desde el consumidor hacia el productor, en un canal de distribución” (Rogers y Tibben-Lembke, 2001, p. 129). En 1998 se acuñaron tres definiciones más: i) es el papel de la logística en el retorno de los productos, la reducción en la fuente, el reciclaje, la sustitución y la reutilización de materiales, la eliminación y renovación de desechos, la reparación y la re-manufactura (Stock, 1998); ii) es el proceso por el cual las empresas pueden ser más eficientes desde el punto de vista ambiental a través del reciclaje, la reutilización y la reducción de la cantidad de materiales utilizados (Carter y Ellram, 1998); y iii) la formulada por Rogers y Tibben-Lembke (1998): “Es el proceso de planificación, implementación y control del flujo eficiente y rentable de materias primas, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada, desde el punto de consumo hasta el punto de origen, con el propósito de recuperar el valor asociado o definir su adecuada disposición”.

Durante el siglo XXI el concepto ha evolucionado bastante. En 2003, el *Council of Logistic Management* la define como: “el proceso de mover bienes de su destino final a otro punto, con el propósito de capturar valor que de otra manera no estaría disponible para la disposición apropiada de los productos” (Don y Doldan, 2010, p. 220). Cure, Meza y Amaya (2006) la conciben como: “El proceso de planificación, desarrollo y control eficiente del flujo de materiales, productos e información desde el último eslabón de la red de valor, hasta el lugar de origen, de manera que se satisfagan las necesidades del consumidor, recuperando el residuo obtenido y gestionándolo de modo que sea posible su reintroducción en la cadena de suministro, obteniendo un valor agregado o consiguiendo una adecuada eliminación del mismo” (p. 186). Para Cabeza (2012), la logística inversa: “abarca el conjunto de actividades logísticas de recogida, desmontaje y desmembramiento de productos ya usados o sus componentes, así como de materiales de distinto tipo y naturaleza con el objeto de maximizar el aprovechamiento de su valor, en sentido amplio de su uso sostenible y, en último caso, su destrucción” (P. 26). Por último, Dyckhoff, Lackes y Reese (2013), consideran que la logística inversa comprende todas las actividades relacionadas con el manejo, el procesamiento, la reducción y la disposición de todos los residuos peligrosos y no peligrosos generados por la producción, además del embalaje y el uso de los productos, incluido el proceso de distribución inversa, y destacan su función ecológica, puesto que, gracias a ella, se pueden evitar innumerables impactos negativos sobre el ambiente.

**7. Psicología ambiental**

El término ‘psicología ambiental’ fue acuñado en 1943 por el húngaro Egon Brunswik, quien lo usó por primera vez en un artículo publicado en la revista *Psychological Review.* De esa manera surgió un primer momento de esta disciplina, que estaba enfocado básicamente a las relaciones ‘ambiente-conducta’, o sea, a los cambios conductuales generados por el ambiente. A mediados de la década de 1970 se consolidó un segundo momento, orientado ahora, específicamente, a las conductas generadas por los espacios arquitectónicos y urbanos, y en su posterior desarrollo se le dio el nombre de ‘psicología de la arquitectura’. Sin embargo, en esos dos momentos, solo se estudiaban las relaciones ‘ambiente-conducta’. No fue sino hasta la década de 1990 cuando se desarrolló una psicología ambiental vinculada a la conservación del ambiente. A partir de entonces, se invirtió la relación precedente, para empezar a estudiar las relaciones ‘conducta-ambiente’, es decir, los efectos ambientales generados por las conductas humanas. De manera que existen dos enfoques bien distintos de la psicología ambiental: i) el que analiza los efectos del ambiente —natural o construido— sobre la conducta humana; y ii) el que estudia los efectos de la conducta humana sobre el ambiente físico y natural.

En relación al segundo enfoque, se puede decir que existen dos clases de conductas fundamentales: i) la conducta responsable con el ambiente (o conducta sustentable), que busca conservarlo y protegerlo; y la conducta irresponsable (o conducta insustentable), que genera destrucción y degradación ambiental. Cabe subrayar que el agente que causa los desequilibrios ambientales sobre el planeta es el ser humano, y debido a que las problemáticas ambientales que surgieron a partir de las décadas de 1960 y 1970, no lograron ser solucionadas por las ciencias naturales —que se pensaba eran las encargadas de estos asuntos—, la psicología ambiental empezó a jugar un papel decisivo en la búsqueda del equilibrio ambiental y de la sustentabilidad urbana (Baldi y García, 2006; Berroeta; 2007; Pol, 2006, Roth, 2000). Para Moser (2003), la psicología ambiental tiene por objeto identificar los procesos que regulan la relación del individuo con el ambiente, evidenciando el imaginario que el individuo tiene del ambiente, y los comportamientos que lo acompañan. Moser define la psicología ambiental como: “el estudio de las interrelaciones entre el individuo y su ambiente físico y social, dentro de sus dimensiones espaciales y temporales” (p. 14).

**8. Eco-diseño**

Según Ryan (2003, 2004), el ‘eco-diseño’ —también conocido como ‘diseño para el medio ambiente’ o ‘diseño verde’— surgió en los Países Bajos a principios de la década de 1990, y los primeros experimentos para aplicar sus principios a gran escala fueron financiados, en esa misma década, por los gobiernos de Australia y los Países Bajos. Señala Ryan el enorme número de guías para el eco-diseño que pronto emergieron desde los campos del diseño y la ingeniería industrial, y además, que para 2003 ya existían 26 mil sitios de internet dedicados a ese tipo de diseño amigable con el ambiente. En cuanto a su definición, Glavic y Lukman (2007) lo conciben como “un proceso de desarrollo de producto que tiene en cuenta su ciclo de vida completo, y considera aspectos ambientales en todas las etapas del proceso, buscando productos que generen el impacto ambiental más bajo posible a lo largo del ciclo de vida” (p. 1875). Mencionan, además, que el eco-diseño busca la reducción de materiales de entrada, la minimización de externalidades negativas a la salida, así como la reducción de los riesgos a la salud humana; y que se relaciona estrechamente con la evaluación del ciclo de vida, la ingeniería ambiental o verde, y los procesos de re-utilización, reciclaje y re-manufacturación. Por su parte, Balboa y Somonte (2014), lo vinculan con la economía circular.

Desde el campo de la arquitectura, a finales de la década de 1990 el arquitecto malayo Ken Yean publicó el libro, *Proyectar con la naturaleza: bases ecológicas para el proyecto arquitectónico*, en el cual abordó todos los principios que hasta aquí hemos mencionado a cerca del eco-diseño, logrando con esa publicación renovar las bases del diseño arquitectónico, el diseño del paisaje y la planificación urbano-regional. Del mismo autor —en colaboración con Lillian Woo— es el *Dictionary of Ecodesign: An Illustrated Reference*, un libro dirigido a profesionales pertenecientes a una amplia gama de disciplinas, puesto que el eco-diseño es totalmente incluyente. Presentamos la entrada correspondiente a eco-diseño del diccionario de Yean y Woo (2010):

“También conocido como diseño sustentable, diseño ecológico del ambiente construido, arquitectura verde y diseño verde. Es el manejo del uso de los procesos de un ecosistema y recursos no renovables a través del eco-mimetismo. Sus principales objetivos son la integración física y mecánica de las formas e infraestructuras construidas con las características y los procesos del ecosistema de un sitio determinado; la prevención del agotamiento de los recursos de energía, agua y materias primas; la prevención de la degradación ambiental causada por las instalaciones y su ciclo de vida; y la creación de una bio-integración entre el entorno construido y el entorno natural. Incluye cualquier forma de diseño que minimice los impactos destructivos del medio ambiente mediante la integración física, sistemática y temporal con los procesos vivos del entorno natural” (P. 79).

**Análisis comparativo**

La síntesis del análisis comparativo de los conceptos estudiados se presenta en la tabla 2.

**Tabla 2. Conceptos teóricos que fortalecen la sustentabilidad urbana, tabla comparativa**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de diversas fuentes.

Del análisis comparativo surgieron once axiomas que sirven de fundamento a la propuesta: *Bucle multidisciplinar para la sustentabilidad urbana*.

I. El concepto de ciclo cerrado —que surgió en el siglo XVIII—, fue retomado como marco teórico por al menos seis propuestas conceptuales: i) metabolismo urbano; ii) economía circular; iii) ecología industrial; iv) redes de valor; v) logística inversa; y vi) eco-diseño.

II. Todos los conceptos estudiados coinciden en dos cosas: i) buscan los mismos objetivos; y ii) todos hacen parte de procesos humanos, industriales y urbanos.

III. El mundo es un sistema limitado y sus recursos son finitos. Es prioritario reducir la explotación de los recursos, recuperando los productos usados, sus materiales o sus partes, para reintroducirlos en nuevos ciclos de producción, en lugar de desecharlos[[8]](#footnote-8).

IV. Es fundamental establecer mercados verdes, donde los productos que han cumplido su ciclo de vida puedan ser re-valorados económicamente y comercializados.

V. Las externalidades generadas por el metabolismo urbano e industrial afectan la naturaleza: es esencial reducirlas. Los residuos que inevitablemente sean generados, deben re-utilizarse o re-introducirse en los procesos industriales y urbanos de manera inteligente[[9]](#footnote-9).

VI. Es fundamental recuperar la energía embebida o incorporada[[10]](#footnote-10) en las materiales que sirven de insumo a la industria y a la ciudad, puesto que la generación de esa energía no solo requiere de recursos naturales sino que genera gran cantidad de externalidades.

VII. En todos los procesos industriales y urbanos se debe buscar la integración de las organizaciones y las personas involucradas, para que compartan información, establezcan el intercambio de materiales y fomenten la cooperación; en lugar de mantenerlas aisladas, desintegradas y compitiendo entre sí.

VIII. Todo producto tiene un valor económico, ambiental y humano —aun cuando haya cumplido su ciclo de vida útil—, puesto que en él se han invertido recursos naturales y recursos económicos, energía y agua, procesos industriales y procesos urbanos, y su producción ha generado externalidades. En consecuencia, debe recuperarse.

IX. Para mantener el equilibrio ambiental es necesario re-plantear la relación seres humanos-naturaleza, porque los seres humanos generan el desequilibrio.

X. Es esencial modificar las conductas humanas —individuales y colectivas— en relación al ambiente, para que sean sustentables.

XI. El diseño de un producto, un objeto arquitectónico o una pieza urbana, debe dirigirse bajo los postulados del eco-diseño, que no solo contemplan el ‘ciclo cerrado’, sino que armoniza la relación entre el mundo natural y el construido, desde su origen mismo.

**Bucle multidisciplinar para la sustentabilidad urbana**

Los procesos urbanos, económicos, industriales y humanos que involucran las ciudades para su normal funcionamiento, son responsables de la extracción de enormes cantidades de energía, materiales y agua que, al ser procesados al interior de las urbes, generan gran cantidad de externalidades. Con el fin de reducir la explotación de los recursos naturales y la degradación de los ecosistemas y la biodiversidad, durante los últimos trescientos años han surgido —desde varias disciplinas y de manera aislada— una serie de conceptos que buscan renovar el equilibrio entre la naturaleza y la especie humana. Infortunadamente, esos conceptos teóricos, tan valiosos para el equilibrio ambiental, se han mantenido en distintas parcelas disciplinares, aislados, separados, encapsulados, encriptados, cerrados sobre sí mismos, o mejor: enclaustrados dentro de las murallas de sus propias disciplinas. Al punto que, normalmente, solo se tiene acceso a cada uno de ellos desde su disciplina correspondiente. Desafortunadamente, aunque comparten un mismo objetivo —que es la sustentabilidad urbana y global—, no se relacionan ni articulan entre sí.

Lo anterior se explica porque las diversas perspectivas disciplinares —que solo captan una parte fragmentada de la realidad—, deben hacerlo así para lograr estudiarla de manera detallada y específica. Son campos disciplinares artificialmente creados y compartimentados artificialmente, en los que predomina la tendencia a observar un objeto en forma fragmentada (Baldi y García, 2006).

En consecuencia, urge que los conceptos que fortalecen la sustentabilidad urbana —que se presentan en el artículo—, aunque históricamente surgieron de distintas disciplinas, ahora se integren, se estructuren y se articulen, para que logren actuar como un sistema multidisciplinar unificado y compacto. Así, sus efectos serán más sólidos, eficaces y eficientes. Para unificarlos e integrarlos proponemos un modelo dinámico, el *Bucle Multidisciplinar para la Sustentabilidad Urbana,* en el cual ocho conceptos para la sustentabilidad urbana que surgieron desde diversas disciplinas, y que por décadas se mantuvieron aislados, se unifiquen trazando un bucle en torno a la ciudad, generen vasos comunicantes entre las diversas disciplinas que involucran, y al trabajar mancomunadamente, fortalezcan significativamente la sustentabilidad de las ciudades (ver gráfica 7).

**Gráfica 7. Bucle multidisciplinar para la sustentabilidad urbana**

**Fuente:** Elaboración propia.

Es prioritario que cada uno de los conceptos —y las disciplinas— que integran el *Bucle Multidisciplinar para la Sustentabilidad Urbana,* empiece a interactuar, aprehender y dialogar con los otros, aunque pertenezcan o hayan surgido de disciplinas distintas, al fin y al cabo y de hecho, todos se integran en una misma realidad: la ciudad contemporánea.

**Conclusiones**

Las ciudades del siglo XXI están pasando por una época de grandes cambios. Uno de los más trascendentes y necesarios consiste en que los profesionales e investigadores de una disciplina, sin importar cuál sea, incursionen en otros campos de conocimiento, porque esa exploración les permite crear vasos comunicantes y redes interdisciplinares que: i) estimulan y fertilizan la creatividad humana (Florida, 2009); ii) facilitan la creación de nuevas formas de hacer las cosas —para hacerlas de manera sustentable—; y iii) contribuyen con el desplome de los viejos paradigmas urbanos que no solo permanecen enquistados en el núcleo de la sociedad, sino en las percepciones y conductas de los ciudadanos. Paradigmas obsoletos e insustentables que impiden alcanzar un bienestar humano verdaderamente equitativo y ambientalmente sano, y que por tanto, urge desmantelar. Porque mientras persistan, continuarán destruyendo la fuente de la energía, los materiales y el agua que tanto requieren la humanidad y las ciudades para sobrevivir: la naturaleza.

Por tanto, es prioritario que los profesionales que de alguna manera inciden en las dinámicas urbanas de las ciudades contemporáneas —sean planificadores, arquitectos, urbanistas, ingenieros industriales, ingenieros civiles, ingenieros viales, ingenieros hidráulicos, economistas, sociólogos, psicólogos, matemáticos, entre otros—, conozcan y utilicen como una herramienta para su trabajo, el *Bucle Multidisciplinar para la Sustentabilidad Urbana*; analicen y valoren sus diversos y variados componentes, y al momento de planificar actividades nuevas —que puedan impactar las dinámicas y el ambiente de la vida urbana— los tengan muy en cuenta.

**Referencias**

ACEEE (2017). *Community-wide energy consumption by city and year*. Washington, D. C.: American Council for an Energy-Efficient Economy-ACEEE. Disponible en: https://database.aceee.org/sites/default/files/docs/local-energy-data.pdf

Alfonso, W. H. and Pardo, C. I. (2014). Urban material flow analysis: An approach for Bogotá, Colombia. *Ecological indicators*, (42), 32-42.

Balboa, C. H. y Somonte, M. D. (2014). Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. *Informador técnico*, 78(1), 82-90.

Baldi, G. y García, E. (2006). Una aproximación a la psicología ambiental. *Fundamentos en humanidades*, 7(13-14), 157-168.

Banco Mundial (2017). *Población urbana (% del total)*. Disponible en: https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS

Berroeta, H. (2007). “Espacio público: notas para la articulación de una psicología ambiental comunitaria”. En: Alfaro, J. y Berroeta, H. (Eds.). *Trayectoria de la psicología comunitaria en Chile*. Valparaíso, Chile: Editorial Universidad de Valparaíso, pp. 259-285.

Boada A. y Mont O. (2005). *Desmaterialización. Sistema producto-servicio, una estrategia diferente de negocios*. Bogotá, Colombia: Universidad Externado de Colombia.

Cabeza, D. (2012). *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*. Barcelona, España: Marge books.

Carter, C. R. and Ellram, L. M. (1998). Reverse Logistics: A Review of the Literature and Framework for Future Investigation. *Journal of Business Logistics*, 19(1), 85-102.

Christopher, M. (1992). *Logistics and Supply Chain Management*. London, UK: Pitman Publishing.

City of New York (2011). *PlaNYC a greener, greater New York*. New York, USA: City of New York.

Conke, L. S. and Ferreira, T. L. (2015). Urban metabolism: Measuring the city's contribution to sustainable development. *Environmental Pollution*, (202), 146-152.

Council of Supply Chain Management Professionals. (2010). *Supply Chain Management Terms and Glossary*. Disponible en: http://www.iwla.com/assets/1/24/2010\_Glossary\_of\_Terms\_10.7.11.pdf

Coyle, J. J., Langley, C. J., Novack, R. A. and Gibson, B. J. (2013). *Supply Chain Management: A Logistics Perspective*. Mason, USA: South-Western Cengage Learning.

Cure, L., Meza, J. C. y Amaya, R. (2006). Logística Inversa: una herramienta de apoyo a la competitividad de las organizaciones. *Ingeniería y Desarrollo*, (20) 184-202.

Don, D. y Doldan, J. (2010). La logística inversa como herramienta de la gestión ambiental. *Ciencia y Tecnología*, (10), 217-224.

Dyckhoff, H., Lackes, R. and Reese, J. (Eds.). (2013). *Supply chain management and reverse logistics*. Berlin, Germany: Springer.

Ehrenfeld, J. R. (2009). Understanding of complexity expands the reach of industrial ecology. *Journal of Industrial Ecology*, 13(2), 165-167.

Fernández Durán, R. (2009). Un planeta de metrópolis (en crisis). Explosión urbana y del transporte motorizado, gracias al petróleo. *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible CUIDES*, (2), 81-128.

Florida, R. (2009). *La clase creativa: La transformación de la cultura del trabajo y el ocio en el siglo XXI*. Barcelona, España: Paidos.

Franke, B., Busch, M. and Zeitz, C. (S. F.). Urban material and energy flows and their potential for synergetic use. *Rapid Planning*. Disponible en: https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/IFEU-Urban-Material-and-Energy-Flows-Final-Draft-1.0.pdf

Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A. and Koh, S. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega*, (66), 344-357.

Ghisellini, P., Cialani, C. and Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, (114), 11-32.

Gibson, B. J., Hanna, J. B., Defee, C. C. and Chen, H. (2013). *The Definitive Guide to Integrated Supply Chain Management: Optimize the Interaction Between Supply Chain Processes, Tools, and Technologies*. New York, USA: Pearson Education.

Glavic, P. and Lukman, R. (2007). Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of Cleaner Production*, 15(18), 1875-1885.

Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (2009). *Informe anual ambiental 2009*. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de ambiente y espacio público.

Gobierno de la Ciudad de México (2012). *Registro de emisiones de gases de efecto invernadero del distrito federal*. México D. F., México: Secretaría del Medio Ambiente.

Gobierno de la Ciudad de México (2015). *Inventario de residuos sólidos*. México D. F., México: Gobierno de la Ciudad de México.

González, G. L. (2010). *Residuos Sólidos Urbanos Argentina: Tratamiento y Disposición Final, Situación Actual y Alternativas Futuras*. Buenos Aires, Argentina: Cámara Argentina de la Construcción.

González, A., Donnelly, A., Jones, M., Chrysoulakis, N. and Lopes, M. (2013). A decision-support system for sustainable urban metabolism in Europe. *Environmental Impact Assessment Review*, (38), 109-119.

Guide Jr, V. D. R. and Van Wassenhove, L. N. (2009). OR FORUM—The evolution of closed-loop supply chain research. *Operations research*, 57(1), 10-18.

Jiménez, M. and Santana, F. (2017). Water Distribution System of Bogotá City and Its Surrounding Area, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá–EAB ESP. *Procedia Engineering*, (186), 643-653.

Kennedy, C., Pincetl, S. and Bunje, P. (2011). The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental pollution*, 159(8), 1965-1973.

Kennedy, C. A., Stewart, I., Facchini, A., Cersosimo, I., Mele, R., Chen, B., ... and Dubeux, C. (2015). *Energy and material flows of megacities*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(19), 5985-5990.

Kneese, A. V., Ayres, R. V. and D’Arge, R. C. (1970). *Economics and the environment: a materials balance approach*. Baltimore, USA: John Hopkins University Press.

Moser, G. (2003). La Psicología Ambiental en el siglo 21: el desafío del Desarrollo Sustentable. *Revista de Psicología*, 12(2), 11-17.

Musterd, S. and Ostendorf, W. (Eds.). (2013). *Urban segregation and the welfare state: Inequality and exclusion in western cities*. New York, USA: Routledge.

Núñez, J., Alfonso, M., Bueno, S., Diánez, M. y Olivenza, E. (2004). Siete puentes, un camino: Königsberg. *Suma*, (45), 69-78.

O'Rourke, D., Connelly, L. and Koshland, C. P. (1996). Industrial ecology: a critical review. *International Journal of Environment and Pollution*, 6(2-3), 89-112.

Pearce, D., Markandya, A. and Barbie, E. (1989). *Blueprint for a Green Economy*. London, UK: Earthscan Publications.

Pearce, D. and Turner, R. K. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. London, UK: Harvester Wheatsheaf.

Pol, E. (2006). Blueprints for a history of environmental psychology (I): From first birth to American transition. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*, 7(2), 95-113.

Preston, F. (2012). *A Global Redesign?: Shaping the Circular Economy*. London, UK: Chatham House.

Rogers, D. and Tibben-Lembke, R. S. (1998). *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. Reno, Nevada, USA: Reverse Logistics Executive Council.

Rogers, D. S. and Tibben‐Lembke, R. S. (2001). An examination of reverse logistics practices. *Journal of business logistics*, 22(2), 129-148.

Roth, E. (2000). Psicología ambiental: interfase entre conducta y naturaleza. *Revista ciencia y cultura*, (8), 63-78.

Rucks‐Ahidiana, Z. and Harding, D. J. (2015). *Urban Poverty*. The Blackwell Encyclopedia of Sociology. DOI: 10.1002/9781405165518.wbeosu014.pub2

Ryan, C. (2003). Learning from a Decade (or So) of Eco‐Design Experience, Part I. *Journal of Industrial Ecology*, 7(2), 10-12.

Ryan, C. (2004). Learning from a Decade (or so) of Eco‐Design Experience, Part II: Advancing the Practice of Product Eco‐Design. *Journal of Industrial Ecology*, 8(4), 3-5.

Secretaría Distrital de Planeación-SPD (2012). *Aproximación al consumo energético por uso urbano y actividad económica en Bogotá 1980-2012*. Bogotá, Colombia: SDP.

Schaffartzik, A., Mayer, A., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Loy, C. and Krausmann, F. (2014). The global metabolic transition: Regional patterns and trends of global material flows, 1950–2010. *Global Environmental Change*, (26), 87-97.

Shahrokni, H., Lazarevic, D. and Brandt, N. (2015). Smart urban metabolism: towards a real-time understanding of the energy and material flows of a city and its citizens. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 65-86.

Stock, J. R. (1998). *Development and Implementation of Reverse Logistics Programs*. Oak Brook, USA: Council of Logistics Management.

Stock, J. and Boyer, S. (2009). Developing a consensus definition of supply chain management: A qualitative study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39(8), 690–711.

United Nations (2012). *State of the World’s Cities 2008/2009*. London, England: United Nations.

United Nations (2014). *World Urbanization Prospects*. New York, USA: United Nations.

United Nations (2017). *World Population Prospects: The 2017 Revision*. New York, USA: United Nations

Von Bertalanffy, L. (1993). *Teoría general de los sistemas*. México D. F., México: Fondo de cultura económica.

Watanabe, C. (1994). “Industrial Ecology and Japan's Industrial Policy”. In Richardson, D. J. and Fullerton, A. B. (Eds.), *Industrial Ecology U.S. Japan Perspectives*. California, USA: National Academy of Engineering.

Wolman, A. (1965). The metabolism of cities. *Scientific American*, 213(3), 179-190.

Yeang, K. and Woo, L. (2010). *Dictionary of ecodesign: an illustrated reference*. Routledge.

1. MMBtu = un millón de Btu. Btu = British Thermal Unit. [↑](#footnote-ref-1)
2. 1 gigatón = Mil millones de toneladas. [↑](#footnote-ref-2)
3. Un megalitro (ML) = un millón de litros de agua [↑](#footnote-ref-3)
4. El artículo forma parte de los resultados de la investigación “Diseño de una red de valor de ciclo cerrado para poner a disposición de la industria manufacturera de Bogotá”, financiada por la Universidad de América. [↑](#footnote-ref-4)
5. Dos directrices conceptuales establecidas por las Naciones Unidas nos orientaron en dicha búsqueda: “Para cumplir con los estándares mínimos de residuos, las ciudades deben cumplir con dos requisitos previos: minimización del uso de combustibles fósiles e insumos materiales; y la maximización del reciclaje y la reutilización de energía, agua y materiales” (United Nations, 2012: 156). [↑](#footnote-ref-5)
6. Se seleccionaron estos ocho conceptos porque tienen como objetivos: i) la reducción de extracción de materiales naturales; ii) la reducción de externalidades; y además, porque han generado un amplio y vigente corpus investigativo que se refleja en innumerables libros, tesis y artículos científicos. [↑](#footnote-ref-6)
7. En el siglo XVIII la ciudad de Königsberg, perteneciente a Prusia Oriental por aquella época, estaba surcada por el río Pregel, y contaba con 7 puentes para cruzarlo. Durante décadas los habitantes de la ciudad intentaron encontrar una ruta que, cruzando una sola vez cada puente, regresara al punto de partida (Núñez, Alfonso, Bueno, Diánez y Olivenza, 2004). [↑](#footnote-ref-7)
8. Este objetivo se fomenta ligando el valor económico real, al flujo de materiales que recorre la ciudad y la industria —incluyendo los materiales que hacen parte de productos que han concluido su ciclo de vida—. Así, se puede aprovechar el valor comercial de los materiales y rescatar la energía embebida o incorporada en ellos. [↑](#footnote-ref-8)
9. Por ejemplo, estableciendo parques industriales donde los residuos de una industria sirvan de insumo para otra, tal como sucede en la naturaleza. O re-utilizando los materiales o las partes de algunos productos, objetivo que se puede realizar de manera muy simple y eficiente con los materiales de construcción. [↑](#footnote-ref-9)
10. Energía embebida o incorporada es toda la energía que se empleó para la fabricación de un material, desde la extracción de materias primas, pasando por los procesos industriales e incluyendo todos los requerimientos de transporte y distribución involucrados. [↑](#footnote-ref-10)