

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**EL METABOLISMO URBANO COMO DISCIPLINA PARA
DETERMINAR LA SOSTENIBILIDAD DE LAS CIUDADES**

Tesis para optar el Título de **Ingeniera Civil**, que presenta la bachiller:

Úrsula Crisy Cárdenas Mamani

ASESOR: Ramzy Kahhat Abedrabbo, PhD.

Lima, Diciembre de 2016



4.4	Indicadores.....	46
4.5	Cálculos e Incertidumbres	50
4.6	Observaciones y Conclusiones.....	53
CAPITULO V: LIMA METROPOLITANA COMO CASO DE ESTUDIO.....		62
5.1	Contexto socioeconómico – Antecedentes	62
5.2	Sistema	63
5.3	Inputs – Outputs	64
CAPITULO VI: CONCLUSIONES		68
REFERENCIAS		71



no son cercanas a concentraciones humanas, como la trata de aguas residuales, reciclaje, zonas industriales, en este caso, se cuestiona la importancia de estas actividades, los flujos que utilizan, y a partir de ahí se determina si es necesario modificar los límites del sistema.

Es importante considerar el tiempo que comprende analizar el sistema. El procedimiento común es utilizar un año específico, recoger la información disponible y en caso no haya información el año de estudio, se adapta o ajusta según ciertos indicadores. Otro procedimiento utilizado consiste en analizar por una cantidad de años el metabolismo del sistema, así permite obtener una mayor comprensión del metabolismo por un periodo y a partir de este determinar tendencias y proyectar objetivos de cambio.

En el caso de París, se expande a toda área metropolitana que está compuesta por la región administrativa de Ile de France: París, Petite Couronne y Grande Couronne.

La ciudad de Londres es administrada por la Corporación de Londres y consiste en 34 distritos. La autoridad encargada es la Gran Autoridad de Londres (GLA). En Estocolmo los límites del sistema espacial es el borde geográfico de la unidad política y administrativa, en este caso, la Municipalidad de Estocolmo.

La ciudad de Bruselas, es una región metropolitana y ciudad a la vez, concéntrica a la región de Flandes. Conviene subrayar que el área metropolitana es mayor que la región. En el caso de Suzhou, el sistema está definido por sus límites administrativos; a pesar de que el área metropolitana sea mayor, solamente se tomaran estos límites por motivos de disponibilidad de información. El estudio de la ciudad de Los Ángeles solamente tomó en cuenta el área urbana localizada en el Condado de Los Ángeles, por cuestiones de información y estadísticas, El análisis se realizó entre los años 1990 y 2000.

En la siguiente tabla se identifican las características de la ciudad que permiten definir el sistema, estos consisten los Límites del Sistema, como estos están definidos, y se mencionará en caso que el estudio se realice en un espacio de tiempo:

Tabla 5. Definición del sistema en 10 ciudades. Fuente: Barles, 2009, Chambers et. al, 2002, Burström et. al, 1997, Pomázi, 2009, Piña, 2014, Hammer, 2003, Browne et. al, 2009, Athanassiadis, 2013, Liang, 2011, Ngo, 2008

Ciudad, País	Sistema
Paris, Francia (Barles, 2009)	Área Metropolitana, dos límites administrativos
Londres, Inglaterra (Chambers et. al, 2002)	Ciudad, límite administrativo
Estocolmo, Suecia (Burström et. al, 1997)	Ciudad, límite administrativo
Budapest, Hungría (Pomázi, 2009)	Ciudad, límite administrativo
Bogotá, Colombia (Piña, 2014)	Ciudad, límite administrativo.
Hamburgo, Alemania (Hammer, 2003)	Región metropolitana, excluye sus regiones aledañas.
Limerick, Irlanda (Browne et. al, 2009)	Ciudad y sus alrededores (limitados administrativamente)
Bruselas, Bélgica (Athanassiadis, 2013)	Región metropolitana, límites administrativos
Suzhou, China (Liang, 2011)	Ciudad, límites administrativos.
Los Ángeles, EUA (Ngo, 2008)	Área metropolitana, dos condados, dos límites administrativos.

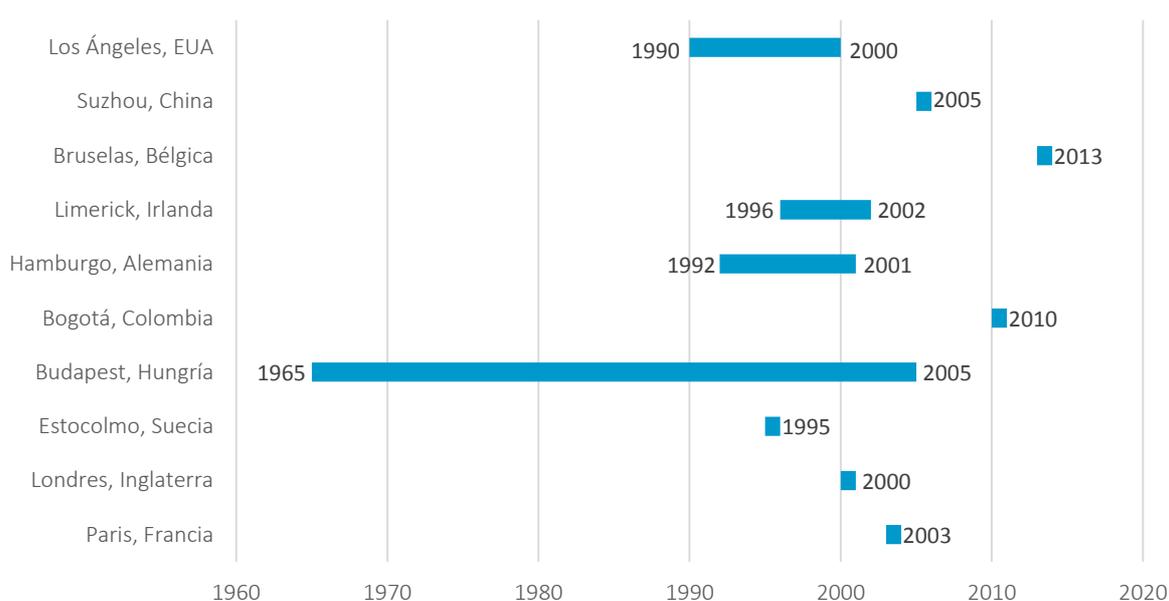


Figura 10. Tiempo de Análisis. Fuente: Elaboración Propia.

4.3 Flujos de Entrada (Inputs) y Flujos de Salida (Outputs)

La elección de los flujos del sistema se define con el propósito de conseguir los objetivos del estudio. Si el objetivo general apunta a tener una comprensión completa del metabolismo, sin tener que ahondar en el detalle de indicar cada flujo y su importancia, entonces se consideraran los flujos más abundantes o que involucran actividades económicas importantes.

Si se desea entender el impacto de un grupo de flujos en específico y su relación con otras actividades, entonces se detallarán aquellos flujos para aquellas actividades en las que participan y considerar aquellas involucradas secundariamente. Por ejemplo, para realizar un estudio de metabolismo urbano enfocándose en el impacto de los gases de efecto de invernadero, todas las actividades emiten a la atmosfera estos gases, entonces se convierte en la tarea de recolectar información para todas las actividades y ser específicos con los flujos relevantes.

Existe una guía metodológica estandarizada de ejecución de Análisis de Flujo de Materiales a nivel nacional. Esta guía, por su utilidad, ha sido adaptada y utilizada en estudios a ciudades y regiones. Aunque cada adaptación realiza una versión propia de inputs y outputs necesarios para un análisis regional/local, la clasificación contiene los mismos ítems y por ende es más sencillo comparar entre estudios que utilicen la misma categorización de flujos. El EUROSTAT es la oficina estadística de la Unión Europea, en el año 2001 generó una guía de AFM para economías nacionales en Europa utilizando un catálogo de materiales para inputs y outputs en base a los requerimientos estadísticos de la misma oficina (PRODCOM). Este catálogo especifica cómo se debe recolectar la información y cómo se debe clasificar para su respectivo análisis y cálculo de indicadores (también especificados en la guía del EUROSTAT).

Los estudios contienen el tipo de información necesaria para realizar un estudio y lo clasifican en inputs y outputs. La siguiente tabla recolecta la información en información extraída, su clasificación en inputs y en outputs.

FLUJOS DE ENTRADA

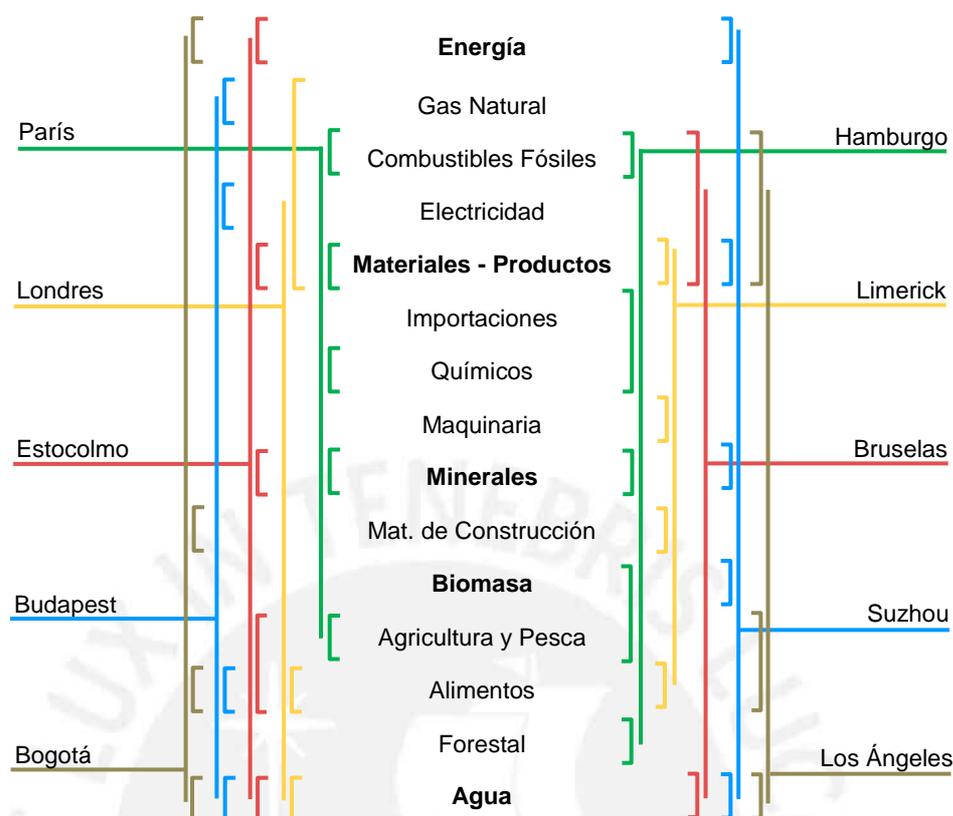


Figura 12. Flujos de entrada mencionados en estudios a 10 ciudades. Fuente: Elaboración propia.

FLUJOS DE SALIDA



Figura 13. Flujos de salida mencionados en estudios a 10 ciudades. Fuente: Elaboración propia.

4.4 Indicadores

Los indicadores nos permiten asociar diferentes datos con características propias del sistema. La metodología de cada estudio permite colocar una nomenclatura a cada

uno de los elementos para poder entender mejor su rol en el sistema. En efecto, estos indicadores nos permitirán entender, mediante cálculos, resultados implícitos que no se pueden hallar al contar sólo los inputs-outputs.

Los indicadores pueden describir la manera cómo estos flujos llegaron al sistema, mostrar que tan rápido puede salir éste del sistema o la estadía en esta. De la misma manera, describe cómo estos flujos se formaron y si es necesario otros elementos que permitan que se produzca y donde se encuentran ubicados, bajo qué actividad económica se encuentra, si se extrae dentro del sistema, la cantidad total necesaria para cumplir los requerimientos metabólicos de la ciudad. Por último, describe aquellos flujos que salen del sistema para terminar en la naturaleza, o que pueden salir hacia otras economías como productos procesados dentro del sistema.

Además, se considera la relación que tiene la población y todo ámbito social con sus actividades cotidianas y la naturaleza, mediante el PBI per cápita, empleabilidad, sector económico predominante, y la eficiencia económica entre el consumo y la generación de residuos.

Algunos de los estudios generan indicadores para adaptar sus metodologías al contexto del objeto de estudio o utilizan indicadores preexistentes. Para las ciudades de París y Hamburgo se utilizaron indicadores pertenecientes a la guía del EUROSTAT, para economías nacionales. Es por ello que se tuvo que adaptar a escala regional. Por la popularidad de esta guía, se puede comparar entre diferentes escalas territoriales. Los indicadores se basan en datos nacionales y se asume que existe alguna estadística a nivel regional. Es más simple porque solamente utiliza los inputs y outputs principales y no requiere de una descripción de la circulación del material dentro del sistema, por eso no se escogió la metodología de Brunner-Rechberger, que involucra definir procesos que son más complejos para la información que se maneja.

Tabla 6. Indicadores utilizados en el caso de París. Fuente: Adaptado de Barles (2009).

INDICADORES	
BI=Inputs Balanceantes	DMC=Consumo material doméstico
BO= Outputs Balanceantes	DMC=DMI-Exportaciones
DMCcorregido=Consumo de Material Doméstico Corregido	DMI=Input de material

NAS= Adición neta al stock	DMCcorr= DMI-Residuos Importados-Exportaciones excepto Residuos
LEPO= Outputs procesados, locales o exportados	DMO=Output material doméstico
TMO=Output total doméstico	DPO=Output procesado doméstico
TMI= Input total material	TMR=Requerimiento total material

En el caso de París (Barles, 2009), se tuvo que añadir el indicador DMCcorr que representa el consumo excluyendo los residuos, como estos se procesan dentro del sistema y no se importan, añadirlos significa aumentar el consumo total per cápita, distorsionando el resultado y su posterior interpretación.

Versiones más simples del EUROSTAT han sido ejemplificadas en el caso de Bruselas (Athanassiadis, 2013) y Bogotá (Piña, 2014), dado a la reducida cantidad de información disponible solo se utilizan indicadores principales como el consumo material total per cápita. Para complementar esta suplencia se utilizan otros indicadores socioeconómicos. En el estudio de Bruselas se utilizaron los siguientes indicadores:

Tabla 7. Indicadores utilizados en el caso de Bruselas. Fuente: Adaptado de Athanassiadis, 2013.

INDICADORES SOCIOECONÓMICOS	
Densidad	Desempleo
Densidad de oficinas	Salario promedio
Stock Material (absoluto y per cápita)	Tamaño de hogares
Numero de edificios	Crecimiento Demográfico

En el estudio de la ciudad de Bogotá se consideraron como indicadores la densidad poblacional, y el PBI. Un marco de trabajo con indicadores se desarrolla a través de dos categorías: La primera categoría a considerar es el análisis de flujos de entrada y salida para los años seleccionados, y la segunda categoría son las intensidades del consumo de recursos o la generación per cápita. Se procedió a separar cada consumo por sector socioeconómico. Existen 6 estratos siendo E1 el más alto (mayor estándar de vida) y E6 el que posee el peor estándar de vida.

Aquellos estudios con indicadores propios incluyen la ciudad de Londres, Estocolmo, Budapest, Suzhou, Los Ángeles y Limerick. En la ciudad de Londres (Chambers et. al, 2002) se mantiene un indicador común a aquel en el EUROSTAT: El consumo directo de material (DMC), de esta manera, es compatible con otros estudios. Se intentó utilizar el modelo propuesto por Linstead y Elkins (2001). Sin embargo se consideró como limitado, porque se toman en cuenta más flujos en este estudio. Como no fue posible localizar todos los rangos de material y flujos de productos a través de Londres, se priorizó en obtener flujos importantes (como materiales de construcción). En caso de información nacional se hizo una escala o rango para adaptarlo a la ciudad de Londres, utilizando indicadores per cápita, según empleabilidad o PBI.

En la ciudad de Budapest (Pomázi, 2009) también se mantiene el método simple de análisis de conteo en Inputs y Outputs, considerando el indicador DMC. La ciudad de Los Ángeles (Ngo, 2008) utiliza similares indicadores a los de Budapest, la diferencia es que separa los flujos según sector económico (Residencial, Industrial, Comercial, Transporte). Como la cantidad de información disponible es más abundante que en Budapest, existe mayor variedad de flujos de entrada y salida. La ciudad de Limerick, la eficiencia metabólica es el indicador principal y el más característico de este estudio. La ecoeficiencia en un sistema urbano significa la cantidad de servicios sociales por unidad de consumo, sin embargo, se utilizará una variación de esta la cual expresa la relación entre la disposición de un producto y su consumo.

$e = \text{Consumo} / \text{Generación de residuos (Tn/Tn)}$

A partir de la eficiencia metabólica se señalarán los sectores más ineficientes en términos de producción de residuos. Se integrará el consumo y el ciclo de vida de un producto con su impacto en el medio ambiente comparando la generación y el consumo de residuos.

En el estudio de la ciudad de Estocolmo (Burström et. al, 1997) se utiliza un modelo de análisis llamado ComBox, que clasifica a las ciudades como comunidades en las que se generan intercambios de flujos con elementos externos. La comunidad o sociedad está dividida en 12 sectores: Agricultura y Pesca, Servicios, Forestal, Infraestructura, Minería y Extracción, Bienes Raíces, Industria, Transporte, Abastecimiento de Alimentos, Hogares, Energía y Gestión de Residuos. Esta selección de sectores ha sido influenciada por entidades del estado, facilitando

comparaciones entre diferentes municipalidades, y también agregaría la información desde el nivel municipal al provincial e incluso al nacional.

El caso de Suzhou (Liang, 2011) es diferente porque se utiliza el Análisis de Flujo de Materiales como una de las varias herramientas de su modelo DPSIR. Para esta plataforma de estudio se consideran cuatro etapas o procesos: Se calcula la presión, comparando niveles de presión con objetivos impuestos, se puede analizar qué tan aceptable es el método implementado, y si el estado actual no es deseable, se identificaron problemas integrando la presión, el incentivo y el estado. Entonces el modelo se dedicará a identificar problemas. Las respuestas están diseñadas a resolver los problemas. Ante las respuestas se identifican y cuantifican nuevos métodos de desarrollo. Estos pasos se repiten hasta que sea necesario. La presión se calcula mediante el Análisis de Flujo de Materiales, porque el consumo de recursos y emisiones de residuos son los causantes principales de las presiones de una ciudad.

4.5 Cálculos e Incertidumbres

Los cálculos se encargan de utilizar los indicadores existentes, la clasificación de inputs y outputs, y se pueden generar nuevos datos o completar datos incompletos que puedan encontrarse en el sistema. La recolección de información puede ser una tarea exhaustiva, y aun así, no conseguir suficiente para poder realizar un análisis completo. Esto sucede cuando las instituciones encargadas de recolectar datos y estadísticas no consideran la posibilidad de realizar un estudio de metabolismo urbano y por ende la información no es suficiente; o simplemente no poseen la logística y el presupuesto para general tal cantidad de información, esto puede ser así porque es complicado monitorear las actividades de un sector económico al detalle y determinar sus flujos porque la mayoría de actividades se genera en ambientes informales, complicando cualquier intento de recolección de información.

A partir de una metodología específica es posible generar nuevos indicadores que dependen del cambio categórico de los flujos involucrados, estos indicadores generados a criterio del investigador implican cálculos y estimaciones. En el caso de modificación de información, es necesario tener cuidado y evitar el doble conteo, el cual puede afectar los resultados de los indicadores de consumo.

Usualmente, la información es provista en escala nacional, en esta situación lo más viable es ajustar esta información a escala regional/local utilizando indicadores socioeconómicos (PBI, empleabilidad, densidad habitacional, geografía).

Los cálculos dependen de los indicadores, como en el caso de París (Barles, 2009), que adicionó indicadores aparte de los establecidos, y por ende, se añadieron más cálculos al análisis. En el AFM de París se tuvieron que recategorizar ciertos flujos para su adaptación a escala regional: Las exportaciones se categorizaron en residuos exportados y otras exportaciones. Los flujos a la naturaleza y reciclaje fueron categorizados como locales y remotos. Los últimos dos cambios se realizaron debido a que parte de los residuos y flujos generados se trataban fuera de los límites del sistema, cosa que nunca sucede en casos a escala nacional. Se añadió el indicador LEPO, que proviene de los residuos sólidos y líquidos que han sido tratados localmente y exportados. Como el DPO solamente considera residuos locales, es por ello que $LEPO = DPO + \text{Residuos Exportados}$. El tratamiento remoto de residuos tiene un impacto en DMC, porque el total de exportaciones aumenta debido a que los residuos pueden también salir del sistema y ser considerados exportaciones.

$DMC = DMI - \text{Exportaciones}$

$DMC_{corr} = DMI - \text{Exportaciones excepto residuos}$

El análisis a la ciudad de Los Ángeles (Ngo, 2008) presenta las siguientes consideraciones: Inputs y consumo son equivalentes cuando no hay cambio en el stock, para este estudio se ha considerado que los cambios en el stock son mínimos. Los cálculos específicos se realizaron con la recolección de información, y por consiguiente definir los inputs y outputs. El primer cálculo, de balance de flujo de agua está definido por:

$$\text{Precipitación} + \text{Inputs Antropogénicos} = \text{Evapotranspiración} + \text{Descarga} + \text{Aguas Subterráneas} + \text{Desagüe} + \text{Cambio en el Almacenamiento de Agua}$$

Para el segundo cálculo, el balance de energía, se utiliza:

$$\text{Radiación Solar} + \text{Calor Antropogénico de Combustión} = \text{Pérdida de Calor} + \text{Pérdida Sensible de Calor} + \text{Conducción de Calor} + \text{Cambio en la Acumulación de Energía.}$$

El consumo per cápita de alimentos en los EEUU ha aumentado en las últimas décadas. Como el ingreso promedio de EEUU es similar al de L.A., se asumió que el consumo per cápita es similar al nacional.

En el caso de Hamburgo, dada la disponibilidad de la información, el material regional incluirá extracción doméstica inutilizada y flujos indirectos, si la información que concierne a estos flujos (actividades mineras) no está disponible, una primera estimación debe ser obtenida a partir de las principales operadoras mineras del país. Los flujos indirectos asociados a importes serán estimados aplicando valores provistos y calculados por el Instituto Wuppertal y es la información más detallada para flujos indirectos disponible mundialmente.

Este AFM será analizado para un periodo de tiempo entre 1992 y 2001. Se escogió este lapso porque la disponibilidad de información será mejor mientras más reciente sea, además que 10 años son suficientes para capturar cambios recientes en el perfil metabólico.

Para la ciudad de Limerick, la mayoría de información es nacional y se adaptó a escala regional. Esto fue necesario debido a la falta de información para la región y ciudad de Limerick y su dificultad en calcular flujos en escalas menores que las nacionales. El consumo de bienes manufacturados y productos fue estimado por la suma de toda la producción doméstica menos las exportaciones.

La actividad de construcción residencial y comercial se halló utilizando valores nacionales y adaptándolos a la ciudad en los años 1996 y 2002. La mayoría de residuos fueron calculados a partir de estadísticas nacionales generadas en el año 1998, se tuvo que adaptar al año 2002 por el aumento de población.

Para la ciudad de Suzhou (Liang, 2011) se considera el consumo de agua para el cálculo de consumo de recursos. El consumo también se calculó en base a la extracción doméstica, importaciones y exportaciones en el sistema. Todos los datos para el análisis fueron conseguidos directamente. Asimismo, el agua residual no es contabilizada porque las presiones generadas a esta provienen otros flujos, como fertilizantes y pesticidas, que ya han sido contabilizados. Se trató de evitar el doble conteo para los flujos de energía, considerando solo la materia prima y no sus subproductos como en el caso de la energía producida por el carbón. Varios tipos de contaminantes no han sido introducidos al análisis, por falta de información. Por otro lado, el mismo problema ocurre con el cálculo de flujos de biomasa. La información

de flujos en el sector industrial proviene de las mismas compañías que la producen. Ante la falta de información de emisiones de agricultura, construcción, y servicios, se utilizó el sector industrial relacionado a estas actividades.

Para el estudio de la ciudad de Bruselas (Athanassiadis, 2013), el único cálculo es aquel que se utilizó para hallar el stock total, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Stock material total} = \text{peso}(\text{edificios}) + \text{peso}(\text{caminos}) + \text{peso}(\text{carros})$$

Para el peso de los edificios: el 84% son residenciales.

$$\text{Peso (edificios)} = \text{número de edificios} * \text{número promedio de pisos} * \text{área de departamentos} * \text{peso por m}^2.$$

En el estudio de la ciudad de Londres solo se recomienda tener cuidado con el conteo doble, que implica contar todos los estados en el que el producto ha sido procesado además del producto final, siendo el elemento el mismo.

Las áreas potenciales de este conteo son: 1) En los sets de información, en donde afecta el análisis de flujo de materiales, y 2) Los impactos entre componentes.

En las ciudades de Estocolmo (Burström et. al, 1997), Budapest (Pomázi, 2009) y Bogotá (Piña, 2014) no se hacen cálculos adicionales, solo utilizan el modelo simple de AFM.

4.6 Observaciones y Conclusiones

Esta es la parte más extensa y una de las más importantes en un estudio de Metabolismo Urbano. Consiste en el análisis de todo el estudio, la interpretación y las conclusiones respectivas. Esta disciplina tiene como propósito final obtener la sostenibilidad de las ciudades, si bien no es necesario, es importante determinar la aplicación de este artículo o estudio en las instituciones que se encargan de aplicar políticas y generar cambios en el sistema.

Los indicadores establecidos en la metodología son revisados y se indica su utilidad en el estudio, se compara con indicadores de estudios realizados en el mismo país o en otras ciudades foráneas. De la misma manera, puede identificar características del estilo de vida y de las actividades económicas principales de una ciudad a través

de sus flujos. Por otro lado, también se considera establecer relaciones entre indicadores, como en el caso de consumo total de biomasa para las ciudades turísticas. Si bien el consumo per/cápita es significativo, no significa que el residente consume tal cantidad, sino que existe una cantidad considerable de gente que se encuentra en la ciudad por un plazo corto para luego retirarse.

Una manera recomendable de llegar a conclusiones respecto al metabolismo de la ciudad es el análisis de resultados por sector económico. Conocer los índices de consumo, producción y generación de residuos del sector industrial, comercial, transporte y doméstico, permite llegar a una comprensión completa del funcionamiento de la ciudad, la relación entre la sociedad y su infraestructura y como afecta ésta la naturaleza urbana.

Otros indicadores relevantes que requieren el análisis son los índices de reciclaje y tratamiento de residuos, el objetivo de las ciudades son lograr el menor impacto ecológico y ambiental, mientras más residuos sean reciclados, se reutilicen para generar energía, se generen menos emisiones al aire utilizando infraestructura eco amigable, se podrán lograr los objetivos generales de un estudio de Metabolismo Urbano.

Al relatar las conclusiones resalta aquellas encontradas en la ciudad de París (Barles, 2009), puesto que no solo determina los resultados, sino que los compara con estudios similares de otras ciudades e intenta determinar las causas posibles a estos resultados, involucradas directamente al comportamiento de la infraestructura en la ciudad. En este estudio, se analizó el impacto de aplicar AFM al nivel local con DMC (Eurostat). Los valores para París (2.2 t/cap), PPC (3.0 t/cap), son muy bajos y claramente son el resultado de la exportación de residuos en estas áreas, en cambio IdF (7.1 t/cap.) presenta valores normales porque todos los residuos son tratados dentro de esta región. Con el DMCcorr los valores para París y PPC son 5.0 t/cap y 4.6 t/cap. El valor para Francia es 13.2 t/cap. Asimismo, el DMI de París y IdF es 8.8 t/cap y 12.3 t/cap, siendo el valor para Francia 16.5 t/cap. Ambos valores son bajos porque esta región es la que menos extrae, produce y transforma que el resto de la ciudad. En este caso, importa la mayoría de sus bienes. La elaboración de estos bienes requiere más consumo de materiales que el bien mismo.

También se examinaron los flujos totales a la naturaleza representados por LEPO. Los valores de París (5.1 t/cap), PPC (5.9 t/cap), e IdF (6.8 t/cap) indican que mayoría

de los Inputs de la región regresan a la naturaleza (57%, 53% y 55% para París, PPC y IdF respectivamente). Esto excede las exportaciones comerciales. También, los niveles de reciclaje son mucho menores (10% del DMI en París, 7% en PPC, 5% en IdF). Los resultados para NAS son bajos, esto puede ser porque Ile de France puede estar saturada con materiales, y la renovación de edificios es escasa. Sin embargo, como esta viene de una ecuación y no de valores exactos, se vuelve susceptible a errores de fuente (por BO y BI) y pueden limitar su precisión. El centro de la ciudad (París) depende casi en su totalidad de otras áreas para sus Inputs y flujos a la naturaleza, esta dependencia se reduce en la zona urbana densa (PPC), porque el tratamiento de residuos sólidos se encuentra en la Petite Couronne.

El origen de los alimentos y productos agrícolas, junto con la diferencia entre DMI y DMC representa: a escala regional el DMI es 2.2 t/cap, de la cual la extracción local es solo 0.5 t/cap, mientras el DMC es 0.9 t/cap y las exportaciones son 1.3t/cap, a pesar de altos niveles de producción, la agricultura regional no está solamente restringida a abastecer localmente. El consumo de productos manufacturados es mayor en París que en PC y esta es mayor que GC, esto se debe a los estándares de vida en estas áreas y refleja la importancia del sector servicio en París. El consumo de combustibles fósiles es mayor en GC que en PC y París, por la dispersión urbana que tiene esta primera (suburbios). La región está alejada de ser autosuficiente con los materiales de construcción, la extracción local es 1.5 t/cap, y el consumo regional es 2.6 t/cap y los rellenos de desmonte son 1.5t/cap. Esto indica que es necesario controlar la extensión urbana, reducir la demanda para materiales de construcción y reciclar residuos de demolición para reducir su extracción.

La ciudad de Hamburgo (Hammer, 2003) también logra determinar ciertos comportamientos y características de su infraestructura y sociedad. El DMI aumento de 98 millones de toneladas en 1992 a 117 millones de toneladas en el año 2002. La extracción doméstica solo es aprox. 160000 toneladas por millón de DMI, esto significa que DMI es en su mayoría importes. El DMI per cápita aumento de 75.8 toneladas en 1992 a 68.3 el 2003. El DMC es significativamente menor que el DMI con 10.9 toneladas per cápita en 1992 y 18.9 toneladas el 2002. El DMI per cápita de Hamburgo es mucho mayor que el promedio alemán (20 t/cap al año), sin embargo el DMC es menor que el promedio. La importancia de los importes no es sorprendente en esta región, al no tener muchas actividades extractivas (minería, agricultura).

La diferencia de DMI y DMC en Hamburgo se puede explicar por el efecto "puerto". En efecto, es uno de los grandes puertos de Europa y recibe grandes cantidades de material y productos que son re-exportados de nuevo. El DMI y el PBI permanecieron constantes (alrededor de 1.6 toneladas por millón de euros), el DMC incremento de 300 a 460 toneladas por millón de euros. No muestra tendencias de desmaterialización. Es diferente a la situación de Alemania, en donde la productividad de los recursos aumenta y el PBI puede ser producido con una menor cantidad de materiales. Las importaciones aumentaron un 20% en estos 10 años, la categoría más importantes es minerales industriales y productos industriales, biomasa y combustibles fósiles. Las exportaciones son el 20% de los importes mostrando la importancia del puerto de Hamburgo como centro de intercambio internacional. Los grandes grupos de exportación son minerales y productos químicos.

La ciudad de Los Ángeles (Ngo, 2008) tiene como objetivo ser un ejemplo para otras ciudades del país, por ello necesita establecer ciertos objetivos respecto a sus resultados. El consumo de alimentos aumentó un 13%, entre los años 1990 y 2000, y significa que este aumento es mayor que el crecimiento poblacional. La producción local de alimentos aumento, aunque su contribución no fue significativa al consumo total de la población. La precipitación total en el condado suman aprox. 2000 millones de m³ de agua (1990) y 3000 millones de m³ (2000), el consumo de agua per cápita se redujo un 6% durante el periodo de estudio. El uso de agua residencial aumentó, pero el uso para regadíos se redujo, junto con la reducción de granjas y uso de ganado. El consumo total per cápita fue de 258 m³ por año el 2000.

El consumo total de energía entre los años 1990 -2000 permaneció casi constante, solo aumentando un 7%, una tendencia que ocurrió en todo el estado de California. Asimismo, la disposición de residuos sólidos se redujo un 7% en el periodo 1990 - 1999, de todos los residuos generados el 44% proviene del sector residencial. La generación per cápita total es de 0.9 MT. En el año 1989, el estado de California pasó la ley de Gestión de Residuos, que indicaba que las ciudades deben desarrollar estrategias para desviar el 25% de residuos sólidos a rellenos sanitarios en el año 1995 y el 50% el año 2000. La ciudad de Los Ángeles excedió ese nivel con un 59% de desvío en el año 2000. Cada residente de la ciudad produce 0.38 m³ de desagüe al día, 139 toneladas per cápita.

Las emisiones de gases de efecto invernadero totales son de 117 MMT de CO₂ en 1990, con un incremento de 6% en el año 2000, proporcional al crecimiento demográfico. El sector que más aportó con las emisiones es el de transporte, consistió en el 44% del total. Asimismo, el consumo de alimentos constituye en 41% de los residuos sólidos en la ciudad de Los Ángeles. La cantidad de residuos sólidos se redujo debido a un programa de reciclaje a gran escala en la región. Por lo tanto, el condado de Los Ángeles ha progresado en establecer metas de sostenibilidad reduciendo los inputs per cápita de agua y energía y outputs de residuos sólidos. El consumo total per cápita de energía, provenientes del sector transporte y el consumo de agua, es alta respecto a otras ciudades.

En el caso de la ciudad de Limerick, se señala principalmente los cambios en el consumo y la eficiencia metabólica. El consumo total de productos y materiales de construcción aumentó un 64% entre los años 1996 y 2002. Los cambios más importantes generados provienen de materiales como madera y materiales de construcción. Por ello, es probable que el mayor impacto en consumo son los materiales de construcción porque representan el 76% del aumento de consumo total. El aumento más significativo de ineficiencia metabólica pertenece a aquellos productos metálicos manufacturados para uso doméstico (+137%). Esto es posible por el reducido tiempo de vida que posee a comparación de otros productos. Los sectores con menor ineficiencia son aquellos productos que poseen mayor tiempo de vida. Significa que el ciclo de vida de un producto tiene relación con su eficiencia metabólica en el tiempo. La reducción de consumo de materiales de madera, de construcción y químicos/plásticos implica que hay una eficiencia en la recuperación y reciclaje de sus respectivos residuos.

Sin embargo la ineficiencia metabólica total se redujo un 31% entre el año 1996 y 2002. Esto se podría explicar por la diferencia entre el aumento de consumo total doméstico (64%) y el aumento de generación de residuos (18%), que significa que el sistema es más eficiente. Probablemente la relación entre la eficiencia metabólica y la generación de residuos/reciclaje no sea directa. En efecto, para reducir la generación de residuos se necesita intervenir en los inputs o en otras etapas del ciclo de vida. Para reducir la eficiencia metabólica es importante diseñar productos durables. La diferencia de información utilizada en otros estudios complica la comparación y análisis, se sugiere realizar una estandarización de colección de información. Asimismo, la metodología de este estudio puede mejorar si se diferencia entre metabolismo industrial, social y doméstico (escalas de estudio).

Finalmente, se resalta que el objetivo de la producción industrial es asegurar que los materiales y energía utilizados sean de larga duración, que facilitan la recuperación y reciclaje, en vez de invertir en elementos que serán obsoletos al corto tiempo. Aunque las ineficiencias metabólicas sean reducidas, si no se reduce el consumo de materiales, el reciclaje y el reusó solo mitigarán parcialmente el problema.

El estudio de la ciudad de Suzhou (Liang, 2011) describe comportamientos actuales y futuros. La energía y demandas minerales dependen de importaciones, pues los depósitos locales son casi inexistentes. El 70% del consumo de energía proviene del carbón y permanecerá así por un periodo significativo de tiempo. Asimismo, el sistema urbano de Suzhou consumió 341 498 000 toneladas métricas de recursos (excluyendo el agua) en el año 2005, 7 billones de toneladas métricas de agua, y 114 602 000 toneladas métricas de CO₂. Cabe resaltar que los sectores construcción, industria y agricultura dominaron el consumo de recursos y emisión de residuos. La mayoría de residuos provienen de industrias metaleras, textiles, productos químicos, productos minerales, energía eléctrica, producción de calor y productos de papel.

Si se continua con estas tendencias, y no existe un cambio de políticas urbanas, el metabolismo se desarrollara en un modo lineal, la eficiencia no se podrá reducir y el consumo aumentará 3.1 veces más que en el año 2005. Parte de los problemas provienen de las industrias y manufacturas, que van en aumento y cuyos procesos requieren el consumo masivo; y el turismo creciente, el cual demanda un consumo mayor per cápita. La cantidad de agua disponible (3 billones de toneladas métricas) es mucho menor a la demanda total, existe escasez de agua subterránea, y el agua es de mala calidad. Cabe señalar que el desarrollo general en China se dirige a la industrialización, pero propone transformar las industrias manufactureras y promover servicios como software y turismo; mejorar las tecnologías actuales, eliminando empresas pequeñas y utilizando materiales eco-amigables. La mejora en la eficiencia del reciclaje de residuos y materiales depende del esfuerzo de las industrias.

Aplicando políticas efectivas, se proyectaron ciertas tendencias para el año 2015: El consumo de recursos, agua y residuos serian 14% menor, 4.5% mayor y 28.9% mayor que los niveles del 2005. Las demandas de energía crecerán un 49% hasta el 2015, esto es por el aumento de industrias electrónicas, manufactura y servicios, además del parque automotor, por consiguiente, la emisión de carbono en el aire aumentará a 71%. El consumo de biomasa se reducirá en el 66.5% por el bajo crecimiento de sectores que consumen biomasa. La desmaterialización de

materiales debería enfocarse en la agricultura, industria y construcción, mientras que la desmaterialización de residuos se debe enfocar en los servicios y el consumo doméstico. Estudios futuros en metabolismo urbano deberían prestar más atención a mejoras estadísticas y soluciones deseables para recrear interacciones entre sectores en sistemas económicos.

El estudio de la ciudad de Budapest (Pomázi, 2009) posee un análisis en un cierto periodo de tiempo, y por ello, existen cambios en estos periodos. En 1965, el consumo per cápita, junto con consumo de agua, es de 114.5 toneladas. Si no se considera el consumo de agua el valor se reduce a 0.88 toneladas. Para el 2005, este indicador fue 88 y 1.8 t/cap. El consumo de agua total fue de 210 millones de toneladas mientras en 1986 estos valores llegaron a los 327 millones. En el año 2005, el consumo fue de 160 millones de toneladas que consistían en el 25% del nivel de 1960.

Se pueden distinguir tres periodos en el total de uso de recursos en Budapest. El primer periodo duro desde el año 1955 hasta 1980, un periodo que se considera como desarrollo extensivo de la metrópolis. En el siguiente periodo, entre 1980 y 1990 puede considerarse como una pre-transición caracterizada por un estancamiento el uso de recursos. El tercer periodo que comenzó en 1990 se caracteriza por la eficiencia de recursos, esto puede ser explicado por una caída de densidad poblacional, transformación de patrones de consumo de la ciudad, y un uso más consecuente del principio del "usuario paga". Se observa un desfase de 5 años en la eficiencia de recursos entre los inputs y los outputs. En ambos casos se puede observar los tres periodos definidos.

En la ciudad de Bruselas (Athanassiadis, 2013) se señalan características generales de consumo y su relación con indicadores socioeconómicos. El consumo de energía es de 24,306 GWh del cual 42% es gas natural, 24% es electricidad, 12% son derivados de petróleo. El consumo final de energía es dividida como tal: residencial (42%), terciaria (33%), transporte (22%), y la industria (3%). Esto genera GHG de hasta 3.5 t/cap, además, como esta energía se produce fuera de los límites de la región, significa que hay una mayor emisión total de GHG. La ciudad de Bruselas requiere anualmente 60 t/cap (163 kg/día), aunque la mayoría de estos requerimientos provienen del consumo de agua (48 t/cap). De todos los productos importados 31% fueron minerales u materiales de construcción, 3% fueron fertilizantes y productos químicos, y 39% son bienes manufacturados.

Los residuos que salen del sistema consisten en 4 categorías: Residuo doméstico (23%), excavaciones (25%), residuo constructivo y de demolición (31%), y por último residuo de actividades industriales (21%). El stock total de la ciudad de Bruselas es de 117 394 kton (aprox. 100 ton por persona), este stock está compuesto por 97% de minerales, 76% de edificios, 23% de caminos y 1 % de vehículos. Asimismo, en el análisis de las relaciones entre el consumo y factores locales, se encontraron ciertas correlaciones entre el consumo y número de automóviles, también se encontraron relaciones entre el agua y el coeficiente GINI de desigualdad socioeconómica. En general, existe una relación entre el consumo/área construida y el sueldo promedio, desempleo, crecimiento demográfico y densidad.

En Bogotá (Piña, 2014), los materiales de construcción incluyen arena, piedra, arcillas, etc., los cuales son explotados ilegalmente. Eso contribuye al 86% de los problemas relacionados al medio ambiente, incluyendo daños geomorfológicos. Asimismo, el consumo de energía y gas natural ha aumentado un 22% y 26% respectivamente. Las emisiones de partículas se han reducido debido al refinamiento de combustibles y aplicación legal de requerimientos que impactaron al sector transporte. Además, es necesario continuar mejorando el procesamiento, uso y sustitución de combustibles para lograr el desarrollo sostenible en los hogares y el sector transporte.

Las tendencias en consumo de alimentos han sido mantenidas en la última década, y la disposición de rellenos sanitarios ha aumentado en un 30%. La cantidad de edificios y residencias ha aumentado significativamente, el promedio de metros cuadrados aumentó de 403 771 en 2000 a 1 332 847 para el 2010. Este aumento ha llevado al crecimiento del sector construcción y por ende, aumenta la demolición y eliminación de residuos (escombros). Por otra parte, una alternativa de análisis de los flujos de materia es a través del indicador per cápita. El consumo de energía y alimentos ha aumentado en las últimas tres décadas, mientras que el consumo de agua se ha reducido, gracias a las campañas para mejorar el uso del agua. Emisiones y aguas servidas se han reducido, mientras que la producción de residuos sólidos ha aumentado.

Las fuentes de energía han cambiado entre el año 1980 (Gasolina, Carbón) y el año 2010 (Gasolina y Gas natural). El uso de electricidad y combustibles fósiles aumento 1172.04 TJ/año y 326,47 TJ/año. El 2010 se consumió 193.8 MJ de energía, el 20.7%

de consumo de energía en Colombia. El consumo de agua se redujo de 178 L en 1980 a 111 L en el 2010. Esto se produce por cambios en la tarifa de consumo, además de incentivar la importancia del cuidado del agua. El 2010, se produjo 233.5 millones m³ de aguas servidas, el 60% se destinó a la planta El Salitre. El 2010, se generó 2 886 055 toneladas de residuos sólidos provenientes de hogares. La cantidad de reciclaje per cápita es muy baja, siendo menos de 1 t/cap. Los residuos de materiales de construcción generaron 1 millón de m³ en 1995, 3 millones en el 2002, 6 millones el 2006, 12 millones el 2010.

En la ciudad de Estocolmo (Burström et. al, 1997), como no se generan valores específicos en el Análisis, se señalan conclusiones generales e indicaciones básicas del comportamiento de las ciudades. Diferentes estudios de flujos materiales en Estocolmo han revelado mucha información de importancia para la gestión ambiental en la ciudad:

Para muchas sustancias, el subsistema sociedad de Estocolmo funciona como un disipador, significa que grandes cantidades de alguna sustancia analizada en cuestión se disipa en el sistema. Las fuentes difusas son muy importantes como fuentes para emisiones al ambiente. Estilos de vida personales y hogares privados son importantes como el origen y fuente de estas emisiones y presiones ambientales de nitrógeno y fósforo. Diferentes estructuras en Estocolmo (edificios, vías vehiculares) son importantes como fuentes para emisiones y presiones ambientales de metales y PCB. Las actividades de la sociedad identificadas como los orígenes más importantes a una presión ambiental no son controladas por la presente legislación o no son supervisadas por la administración ambiental.

Un problema importante en estos análisis es la falta de información relevante. Es necesario realizar cambios importantes en la colección, almacenamiento y procesamiento de información ambiental en la ciudad de Estocolmo para elaborar análisis de este tipo.

En el estudio de Londres (Chambers et. al, 2002), al estar asociado con el estudio de Huella Ecológica, las conclusiones se vuelven simples, porque solamente determinan cantidades específicas de consumo. En el año 2000, Londres consumió 154 000 GWh de energía. Las emisiones asociadas con este consumo fueron 40 972 000 toneladas. La categoría de consumo más utilizada es el Gas (17 266 000 toneladas de CO₂). La electricidad produjo el segundo nivel más alto de emisiones de CO₂.

Se consumió alrededor de 49 millones de toneladas de materiales y alimentos. El 81% de estos alimentos fue importado desde fuera el país. Asimismo, el sector construcción es el que consumió más materiales, que también produjo la mayoría de residuos (14 756 000 ton). Además, esto contribuye al stock de la ciudad (13 024 000 ton).

Londres generó más de 26 millones de toneladas de residuos, de las cuales 14.8 millones fueron generados por el sector construcción, 7.9 millones fueron generados por el sector industrial y comercial y 3.4 millones generados por hogares. Esta ciudad tiene el consumo de materiales per cápita (DMC) más elevado, con 6.7 toneladas per cápita por año. Esto es más que el promedio del RU, 6.1 t/cap. Se considera que puede haber errores metodológicos, como el doble conteo.

CAPITULO V: LIMA METROPOLITANA COMO CASO DE ESTUDIO

5.1 Contexto socioeconómico – Antecedentes

La ciudad de Lima, la capital del Perú, es la ciudad más importante del país, y una de las más importantes de Sudamérica. Tiene una población de más de 9.7 millones de personas (INEI, 2015). A partir de mediados del S. XX, el crecimiento demográfico creció exponencialmente las tasas de crecimiento a 5.7% entre los años 60, a causa de la inmigración desde el resto de departamentos en el país, ya sea por motivos económicos o conflictos internos (IMP, 2014a). La tasa de crecimiento demográfico actual es de 2.0%, Lima es aún una ciudad joven, su edad promedio es de 30,1 años, pero ha encontrado estabilidad demográfica.

La ciudad concentra la mayor cantidad de demanda de materiales y energía en el país. Asimismo, el país posee una estructura socioeconómica centralizada en la capital, abarca la mayoría de actividades administrativas y gubernamentales (IMP, 2014a). Por tener el puerto más importante del país, Callao, gran cantidad de productos que son importados logran entrar al país a partir de esta ciudad (MTC, 2011). Además, posee el aeropuerto internacional más importante del país, y por ende la mayoría de visitantes extranjeros llegan a Lima (MTC, 2011).

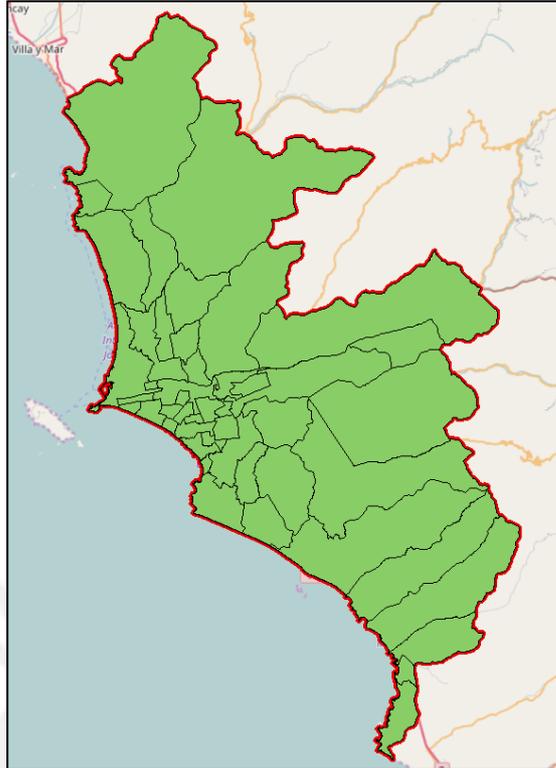


Figura 14. Lima Metropolitana y sus distritos. Fuente: Elaboración Propia.

El propósito de realizar un Análisis de Flujo de Materiales es porque no existen precedentes de este, y sin embargo es importante y necesario determinar el consumo y producción de materiales y energía, generación de residuos y emisiones al aire. El objetivo final es lograr que Lima se convierta en una ciudad cuyo desarrollo sea sostenible y el primer paso es identificar cuales sus carencias y a partir de qué estado se debe comenzar a planificar y establecer políticas de consumo.

5.2 Sistema

Ubicada en la costa central del Océano Pacífico, la Región Metropolitana de Lima, que incluye la provincia de Lima y la provincia constitucional del Callao es la región urbana que abarca desde el distrito de Ancón en el norte y el distrito de Pucusana en el Sur. Posee 42 distritos, entre los cuales el más grande es Carabaylo (346.88 km²) y el más poblado es San Juan de Lurigancho (898 443 habitantes, IMP 2015). En cuanto a actividades económicas y roles de centros urbanos, Lima se divide en cuatro Centros: Lima Norte, Lima Sur, Lima Este, en estas tres áreas las funciones son comerciales, productivas; y Lima Centro cuyas funciones son comercial, administrativo, financiero y de servicios (IMP 2013).

5.3 Inputs – Outputs

Los inputs y outputs se clasificaron acorde al procedimiento 3.8 del capítulo tres. Básicamente todos los elementos que ingresan al sistema son considerados como inputs, cabe agregar que Lima es el foco urbano más grande del país, además que posee el puerto y aeropuerto más importante, por ende la cantidad de materiales que ingresan serán mayores que en otras ciudades del país. Todos los elementos que salen del sistema son considerados como outputs, la ciudad abastece de cierta manera al resto de ciudades del país, y por ello se también debe considerar la cantidad de materiales no utilizados que salen del sistema.

Los flujos que entran al sistema, según la información disponible, se clasifican en: agua, energía eléctrica, combustibles fósiles, materiales y biomasa.

El agua potable proviene de las cuencas del Rímac y Chillón. Estas se derivan a la Planta de Tratamiento La Atarjea (78%, 18.00 m³/s) y Chillón (4%, 2.00 m³/s), y el resto a los Pozos Sedapal y Agua Azul (15% y 3%) del agua potable proviene de los pozos de Lima y Callao (SEDAPAL, 2015). El consumo total de agua en el año 2014 es de 530 891 miles de m³ (INEI, 2015). Sin embargo, la producción total de agua potable es de 687 580 miles de m³. La diferencia puede explicarse por fugas en la red de distribución, medidores y venta informal de agua potable en la periferia de la ciudad (SEDAPAL, 2015).

Respecto a la biomasa, existen terrenos agrícolas en Lima Norte (69.2%), Lima Este (20.4%) y Lima Sur (10.3%) de la superficie total, lo que significa que hay cantidad de productos agrícolas que ingresan al sistema (IMP, 2013). Según el censo nacional agrícola, en el año 2013 se produjeron 35.20 toneladas de productos agrícolas, entre camote, cebolla y maíz amarillo (MINAG, 2015).

A partir de un estudio de consumo per-cápita de alimentos (INEI, 2010) se puede calcular el total de biomasa consumida en Lima Metropolitana. Asumiendo que el consumo total de alimentos per-cápita de alimentos es constante en todos los años. El consumo es de 4 364.8 miles de toneladas anuales. Los alimentos consumidos comprenden desde harinas, arroz, fideos, carnes y pescados, lácteos, huevos, frutas, azúcar, tubérculos y bebidas (INEI, 2010). Para Lima Metropolitana el consumo total es de 12 109 GW.h de energía eléctrica en el año 2014 (MEM, 2015; COES, 2015), las centrales hidroeléctricas de Matucana (910.7 GW.h), Moyopampa (556.5 GW.h),

Callahuanca (605.8 GW.h), Huampaní (214.4 GW.h) y Huinco (1 318.7 GW.h) son las que abastecen la ciudad (IMP, 2014e). En cuanto a centrales termoeléctricas, las plantas de Santa Rosa (904.1 GW.h), Ventanilla (3 352.6 GW.h), Kallpa (5801.2), Fénix (1 512.8 GW.h) y Las Flores (122.5 GW.h).

La Cooperación Peruano-Japonesa (JICA) realizó un estudio sobre el transporte urbano en la ciudad de Lima. El transporte de carga se encuentra como uno de sus objetos de estudio y permitieron hallar datos importantes sobre los flujos de materiales (productos). La composición del transporte de carga se divide en tres entradas terrestres a la ciudad: Lima Norte, Lima Este y Lima Sur. La cantidad total de toneladas entrantes a la ciudad son aproximadamente 16.3 mega toneladas. Esto incluye productos ganaderos/pesqueros, productos alimenticios, madereros e industriales.

Para poder completar el flujo de entrada de productos en la ciudad de Lima, también se debe contabilizar la carga que llega del aeropuerto Jorge Chávez y el puerto de Callao. Por ello, el aeropuerto descargó un total de 108 614 toneladas de carga entre nacional e internacional en el año 2014 (MTC, 2015). Asimismo, el puerto de Callao descargó un total de 17 630 miles de toneladas en el año 2014.

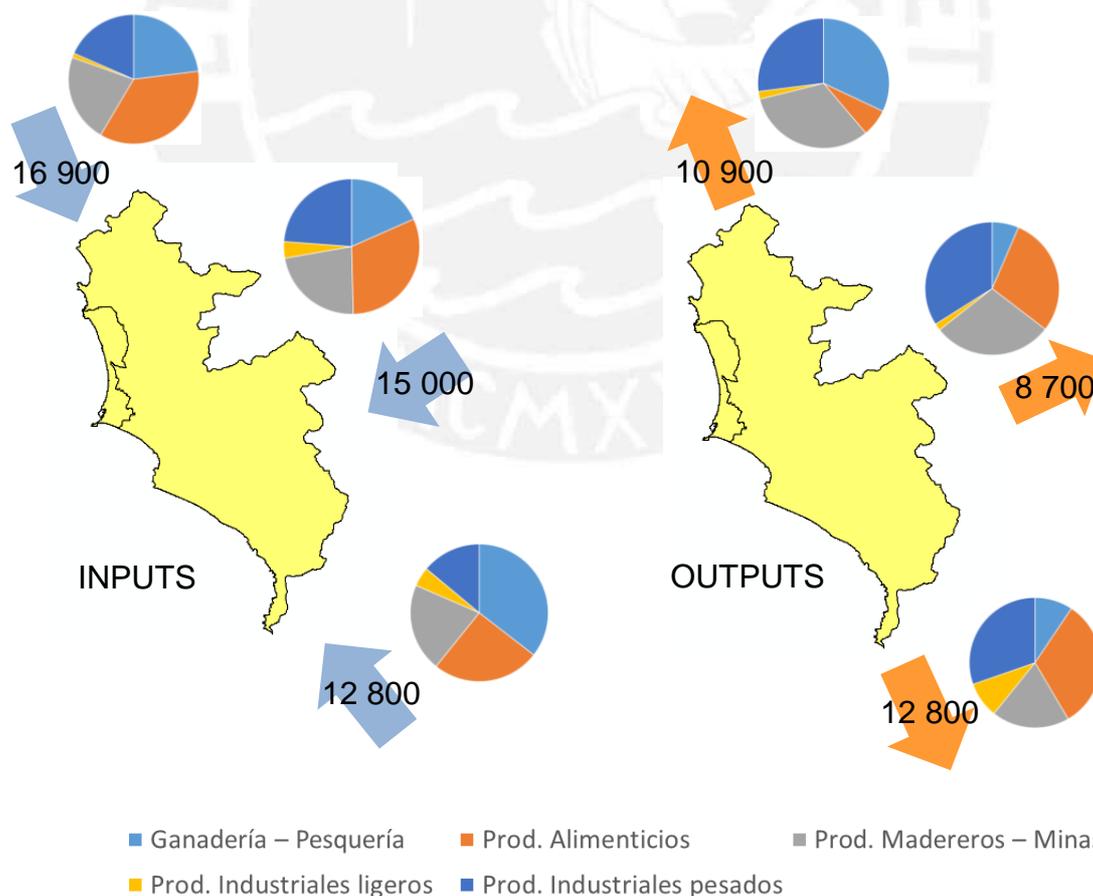


Figura 15. Cantidad y distribución del flujo de transporte de carga a través de las principales vías terrestres en Lima. Unidades en ton/día. Fuente: Adaptado de JICA (2007).

Para poder detallar estos flujos de entrada consideraremos aquellos cuya información se encuentra disponible. Materiales de construcción como el cemento se producen dentro de los límites de Lima Metropolitana: 3 950 miles de toneladas producidas y 366 miles de toneladas que entran al sistema anualmente. El acero es otro material que se produce en otros departamentos (539 miles de toneladas anuales).

Respecto a los outputs o flujos de salida, se consideran los residuos sólidos, desagüe, productos exportados internacionalmente o fuera del sistema, y emisiones al aire.

Todos aquellos materiales que salen del sistema como productos a exportar se consideran en parte del análisis. En efecto, la carga nacional e internacional del Aeropuerto Jorge Chávez es de 225 153 toneladas (MTC, 2015). El total de carga exportada desde el puerto del Callao es 9 907 miles de toneladas métricas.

En la ciudad de Lima existen estudios que determinan la cantidad de contaminantes en el aire, la emisión total de 163 893 Ton/año. De ellas, las partículas totales en suspensión (PTS) corresponden a 86 652 Ton/año, asimismo, 8 460 Ton/año corresponden a partículas menores a 10 micras (PM-10) (10% aprox), 40 821 Ton/año provienen de emisiones de dióxido de azufre (SO₂, 50%), el resto lo componen el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), (DIGESA, 2005).

Los residuos sólidos generados en Lima Metropolitana están compuestas principalmente de materia orgánica (50.78%), papel (7.08%), tecnopor y similares (8.92%), metal (5.07%), plástico PET (4.04%), (IMP,2014e). Asimismo, las zonas que generan más residuos son las zonas Centro y Este. La disposición final de la mayoría de residuos es de relleno sanitario (92.6%). El total de generación de residuos anual es de 3 067.75 miles de toneladas (INEI, 2014).

El servicio de alcantarillado administrado por SEDAPAL recolecta 18 m³/s (SEDAPAL, 2015). Asimismo, existen 22 PTAR (Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales) en Lima Metropolitana. De estas, solo tres realizan tratamientos primarios, dieciocho realizan tratamientos secundarios y uno realiza tratamiento terciario. La reciente construcción de los PTAR (Plantas de Tratamiento de Aguas

Residuales) de La Taboada y La Chira, permiten tratar hasta 20 m³/s de desagüe, cubriendo totalmente su capacidad. (IMP, 2013). La cantidad total anual de agua residual generado en el año 2014 es de 409 289 miles de m³.

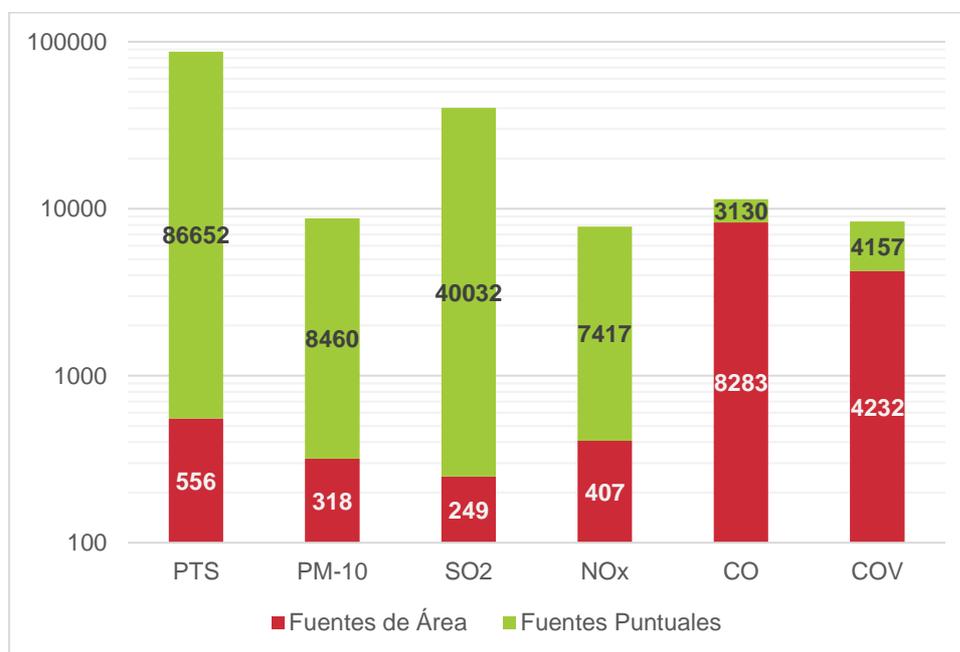


Figura 16. Emisiones anuales al aire. Fuente: Adaptado de DIGESA, 2005.

Finalmente, se realiza un estimado de todos los flujos antes mencionados. El año de estudio es el 2014. La resta entre los inputs y outputs no es el stock dado que todos los flujos no han sido contabilizados. Asimismo, valores actuales del acumulado no están disponibles (edificios, infraestructura y productos).

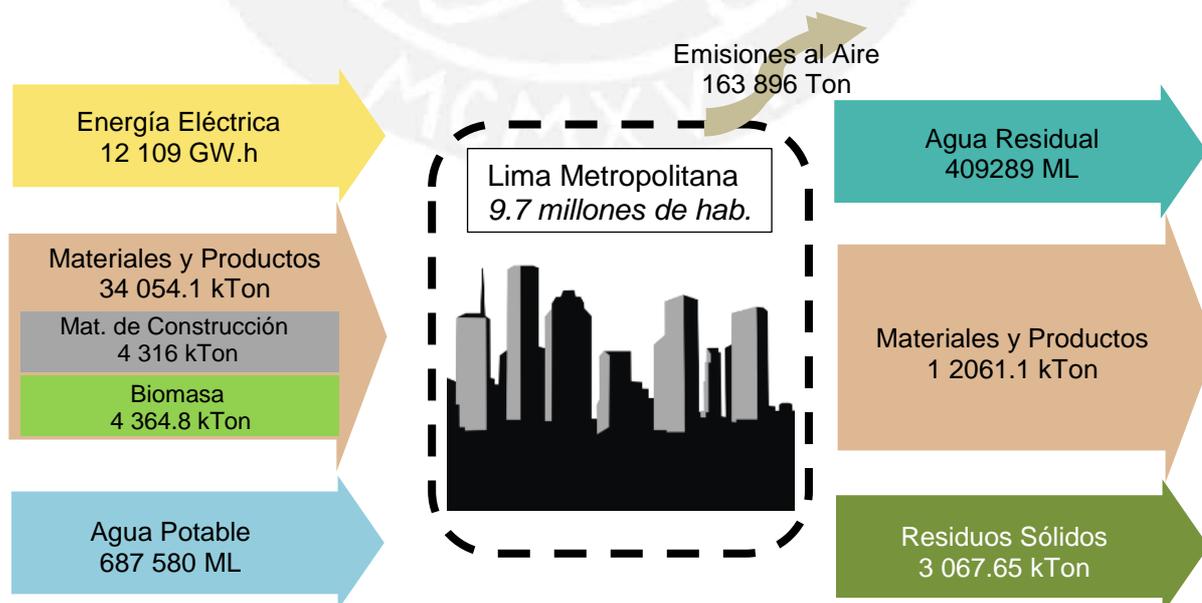


Figura 17. Análisis metabólico de la ciudad de Lima. Elaboración Propia.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

Todas las actividades humanas generan consecuencias. Desde los comienzos de nuestra historia hemos utilizado los recursos naturales disponibles, directamente, y posteriormente para generar otros productos. Como la totalidad de recursos disponibles satisfacían plenamente a la población total, se daba por sentado que estos eran infinitos. Cabe señalar que la explosión demográfica que empezó en el S. XX y continua hasta nuestros días, nos permitió comprender que el planeta Tierra posee una capacidad de carga disponible para la población mundial y que es probable que estemos a punto de alcanzarla. Además, las actividades que se realizan generan impactos a la naturaleza, acelerando el proceso de degradación.

Si observamos cómo se desarrolla la sociedad, la tendencia actual de la población es el aumento de zonas urbanas, el crecimiento de ciudades y la aparición de megaciudades, aquellas que tienen más de 10 millones de habitantes. Esto significa que la mayoría de recursos y energía se concentraran en las ciudades, y la clave para la sostenibilidad se encuentra en cómo estas se manejan. La disciplina encargada del desarrollo sostenible de las ciudades es el Metabolismo Urbano.

Durante mucho tiempo, la ciencia se ha dedicado a extender sus conceptos y especializarse. Es probable que, como consecuencia de la infinita curiosidad del ser humano, las disciplinas científicas se separaron entre si y formaron sus propios métodos, lingüística y propias percepciones del mundo. Esto también significa que la comunicación entre disciplinas ha sido, y aún es, escasa. Sin embargo, el Metabolismo Urbano, como varias de sus disciplinas hermanas como la Ecología Industrial, Política Urbana y Economía Ecológica, tiene como esencia la conexión entre otros conocimientos y percepciones sobre los fenómenos que nos rodean. Por ello, en vez de enfatizar y profundizar en una línea de conceptos, el Metabolismo Urbano se ha nutrido de diversas materias y disciplinas científicas como la Biología, Ecología, Sociología, Economía, etc.

No es sino hasta mediados del S. XX que el Metabolismo Urbano se refiere como propio y se convierte en objeto de estudio, con la publicación de Abel Wolman, El Metabolismo de las Ciudades (1965), y una serie de publicaciones posteriores, con enfoques al análisis de flujos de energía o materiales, fortalecieron el crecimiento de la disciplina, sin embargo, no existía una metodología determinada y eso no permitía la comprensión y comparación total de resultados. En las últimas dos décadas, la

cantidad de publicaciones referentes ha crecido exponencialmente y cada vez más las instituciones gubernamentales y académicas están mostrando interés por el desarrollo de la disciplina.

El análisis de las ciudades nos permite llegar a ciertas conclusiones. Se puede decir que a pesar que existan diferencias metodológicas, existe un concepto base de lo que representa el AFM, y se pueden extraer resultados comparables entre sí, por ejemplo, el DMC (consumo directo de materiales) que permite comparar en su totalidad la cantidad de materiales consumidos, entre biomasa, combustibles fósiles y materiales no perecibles. Este indicador está presente en casi todos los estudios y aunque aún no sea completamente preciso, es el más compatible para efectuar observaciones que se relacionen al estado de infraestructura y prácticas de consumo en la ciudad.

En efecto, es valioso relacionar resultados específicos con situaciones reales, como es el caso de París, que identifica problemas de consumo y emisión de residuos, así como cuestiona si ciertos indicadores dependen de ciertas actividades como la construcción. Otro estudio similar es el de Hamburgo, que llega a la conclusión de que sus valores de consumo dependen altamente de su condición de ciudad portuaria.

En la mayoría de estudios presentados, se determina el aumento del consumo en valores específicos, como estos estudios utilizan un periodo de tiempo, se compara la variación de resultados en cada indicador, esto es el caso de Budapest, Bogotá, Londres, Los Ángeles y Limerick. En estos se han encontrado variaciones significativas negativas e incluso se han predicho situaciones futuras si no se realizan cambios. Por último, están aquellos estudios que muestran un AFM puntual, y cuya utilidad depende de su comparación con otros estudios, como es el caso de Bruselas, Estocolmo y Suzhou.

Aun así, la mayoría de estudios presentan dificultades, generales o específicos, que necesitan superarse y mejorar. Probablemente la primera dificultad para la realización completa de estudios de Metabolismo Urbano es la falta de información. Tener un análisis del funcionamiento de una ciudad es tarea complicada, y se complica más cuando no hay datos suficientes. Tal vez porque implica conocer a detalle cada actividad y sus flujos respectivos, y esto es más difícil aun en países emergentes, en donde la informalidad prima en la mayoría de aspectos

socioeconómicos. Las oficinas estadísticas se enfocan primero en obtener datos nacionales y no consideran aquellos datos regionales o locales. Es usual que aquellos estudios que utilizan datos locales, hayan sido provistos por entidades locales que han dedicado a recolectar datos en su propia jurisdicción. Esto es común en países desarrollados como Francia, Alemania, Suecia, Inglaterra, etc.

Una dificultad también reside en la variedad de propuestas metodológicas. Se podría decir que cada estudio presenta su propia metodología. Con la excepción de estudios a ciudades europeas, que se basan en una guía metodológica para economías nacionales y adaptada a escalas locales, cada uno de los estudios presenta su propia manera de indicar Inputs y Outputs, y. establecer indicadores. Probablemente una de las razones por la que esto sucede es la competitividad entre investigadores, sin embargo esta diversidad nos permite contribuir a la creación de un modelamiento para estandarizar estos estudios, porque al fin y al cabo, la madurez de esta disciplina dependerá de cuan estandarizadas estén estas medidas, que tan confiable es la información y si los conceptos son claros y específicos.

Otra dificultad presente es la aplicación de estos estudios al contexto social. Siempre se enfatiza la importancia de considerar no sólo los aspectos biofísicos sino también los sociales, pues estos también influyen en el funcionamiento de los sistemas urbanos. Se debe facilitar a aquellos que intervienen directamente con la toma de decisiones, actores políticos, e instituciones.

Lima Metropolitana es la aglomeración urbana más importante del país. Es por ello que se señala la importancia de poder entender los flujos de materia y energía en el sistema definido por sus límites administrativos. El análisis anterior define a grandes rasgos cómo la ciudad funciona, la relación entre las grandes cantidades de materia que entran a la ciudad y el elevado producto bruto interno, cantidad de actividades económicas y alta densidad demográfica. En efecto, la ciudad de Lima tiene oportunidades de mejora al lidiar con sus residuos, patrones de consumo de energía, consumo de agua y manejo de materiales. El análisis de flujo de materiales nos da una idea de cuánto podemos mejorar respecto a otras ciudades que tienen como prioridad implementar políticas ambientales.

REFERENCIAS

Athanassiadis, A., & Bouillard, P. (2013). Contextualizing the Urban Metabolism of Brussels: Correlation of resource use with local factors. *CISBAT 2013. Clean Technology for Smart Cities and Buildings. From Nano to Urban scale.*

Ayres, R. U., & Ayres, L. (Eds.). (2002). A handbook of industrial ecology. *Edward Elgar Publishing.*

Ayres, R. U., & Kneese, A. V. (1969). Production, consumption, and externalities. *The American Economic Review*, 59(3), 282-297.

Barles, S. (2009). Urban metabolism of Paris and its region. *Journal of Industrial Ecology*, 13(6), 898-913.

Beloin-Saint-Pierre, D., Rugani, B., Lasvaux, S., Mailhac, A., Popovici, E., Sibiude, G., ... & Schiopu, N. (2016). A review of urban metabolism studies to identify key methodological choices for future harmonization and implementation. *Journal of Cleaner Production.*

Boston Consulting Group. (2010). A New World Order of Consumption.

Browne, D., O'Regan, B., & Moles, R. (2009). Assessment of total urban metabolism and metabolic inefficiency in an Irish city-region. *Waste Management*, 29(10), 2765-2771.

Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2003). Practical handbook of material flow analysis. *CRC Press.*

Burström, F., Brandt, N., Frostell, B., & Mohlander, U. (1997, September). Material flow accounting and information for environmental policies in the city of Stockholm. In *Analysis for Action. Wuppertal Special 6. Proceedings of the ConAccount Conference. Hrsg. von MF-K. Stefan Bringezu, René Klein, Viveka Palm. Wuppertal. Wuppertal Institut.* S (pp. 136-145).

Burgess, E. W. (1967). *The growth of the city: an introduction to a research project* (pp. 71-78). Springer US.

Campbell, D. E., Brandt-Williams, S. L., & Meisch, M. E. (2005). *Environmental accounting using emergy: Evaluation of the state of West Virginia*. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Atlantic Ecology Division.

Castán Broto, V., Allen, A., Rapoport, E., (2012) Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*.

Chambers, N., Heap, R., Jenkin, N., Lewis, K., Simmons, C., Tamai, B., & Vernon, P. (2002). A resource flow and ecological footprint analysis of Greater London. *Oxford: Best Foot Forward Ltd*.

City Populations (2014). Major Agglomerations of the World. <http://www.citypopulation.de/world/Agglomerations.html>. Consultado en Febrero del 2015.

Clements, F. E. (1916). Plant succession: an analysis of the development of vegetation (No. 242). Carnegie Institution of Washington.

COES Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (2015). Estadística de Operación 2014.

Cottrell, F. (1955). Energy and society: the relation between energy, social change, and economic development. *McGraw New York*.

DIGESA. Dirección General de Salud Ambiental (2005). Resultados del Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas, Cuenca Atmosférica de la ciudad de Lima – Callao.

Duvigneaud, P., Denayeyer-De Smet, S., (1977). L'Ecosystème Urbs, in L'Ecosystème Urbain Bruxellois, in Productivité en Belgique. In: Duvigneaud, P., Kestemont, P. (Eds.), Travaux de la Section Belge du Programme Biologique International, Bruxelles, pp. 581e597.

Engels, F. (1872). The Housing Question. *Progress*.

Ferrão, P., & Fernández, J. E. (2013). Sustainable urban metabolism. MIT Press.

Fischer-Kowalski, M. (1998a), Society's Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 1: 61-78.

Fischer-Kowalski, M., Hüttler, W. (1998b), Society's Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 2: 107–136.

Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Giljum, S., Lutter, S., Mayer, A., Bringezu, S., ... & Weisz, H. (2011). Methodology and indicators of economy-wide material flow accounting. *Journal of Industrial Ecology*, 15(6), 855-876.

Geddes, P. (1884). An Analysis of the Principles of Economics. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 12, 943-980.

Georgescu-Roegen, N. (1986). The entropy law and the economic process in retrospect. *Eastern Economic Journal*, 3-25.

Ghezzi, P., Gallardo, J.,(2013) ¿Qué se puede hacer con el Perú? Ideas para sostener el crecimiento económico en el largo plazo. *Fondo Editorial PUCP*.

Global Footprint Network (2015). Frequently Asked Questions. Recuperado de: http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/frequently_asked_questions/#gen1

Graedel, T. E., & Allenby, B. R. (2003). *Industrial Ecology*. 1995. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 7632, 83-187.

Goodland, R. and H. Daly. (1996). Environmental sustainability: Universal and non-negotiable. *Ecological Applications* 6: 1002–1017.

Hammer, M., Giljum, S., Friederich, H., (2003). Material Flow Analysis of the City of Hamburg. "Quo Vadis MFA? Material Flow Analysis, Where do we go? Issues, Trends and Perspectives of Research for Sustainable Resource Use" Workshop, Wuppertal Institut.

Hau, J. L., & Bakshi, B. R. (2004). Promise and problems of emergy analysis. *Ecological Modelling*, 178(1-2), 215-225.

Hodson, M., Marvin, S., Robinson, B., Swilling, M., (2012). Reshaping Urban Infraestructure. *Journal of Industrial Ecology*.

Huang, S.L., Hsu, W.L., 2003. Materials flow analysis and emergy evaluation of Taipei's urban construction. *Landscape and Urban Planning* 63, 61e74.

Huang, S.L., 1998. Urban ecosystems, energetic hierarchies, and ecological economics of Taipei metropolis. *Journal of Environmental Management* 52, 39e51.

Huang, S.L., Chen, C.W., 2009. Urbanization and socioeconomic metabolism in Taipei: an emergy synthesis. *Journal of Industrial Ecology* 13, 75e93.

IMP (2013), Plan Regional de Desarrollo Concertado de Lima. Municipalidad Metropolitana de Lima.

Instituto Metropolitano de Planificación – IMP (2014a). I Memoria de Análisis y Diagnóstico PLAM 2035: Introducción

Instituto Metropolitano de Planificación – IMP (2014b). I Memoria de Análisis y Diagnóstico PLAM 2035: Aspectos Sociales.

Instituto Metropolitano de Planificación – IMP (2014c). I Memoria de Análisis y Diagnóstico PLAM 2035: Marco de Planificación.

Instituto Metropolitano de Planificación – IMP (2014d). I Memoria de Análisis y Diagnóstico PLAM 2035: Servicios Básicos.

Instituto Metropolitano de Planificación – IMP (2014e). I Memoria de Análisis y Diagnóstico PLAM 2035: Medio Ambiente

INEI (2010). Perú: Consumo Per-cápita de alimentos 2008-2009.

INEI (2015). Anuario de Estadísticas Ambientales: 2014.

INEI (2016). Compendio Estadístico 2015.

ISO, E. (2004). 14001: 2004. Environmental management systems-Requirements with guidance for use (ISO 14001: 2004).

JICA - Agencia de Cooperación Internacional de Japón (2007). Estudio de Factibilidad de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú. *MTC*.

Kennedy, C. A., J. Cuddihy, and J. Engel Yan. (2007). The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*

Kennedy, C., & Hoornweg, D. (2012a). Mainstreaming urban metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 16(6), 780-782.

Kennedy, C., Baker, L., Dhakal, S., (2012b) Ramaswami, A., Sustainable Urban Systems. An Integrated Approach. *Journal of Industrial Ecology*.

Liang, S., & Zhang, T. (2011). Urban metabolism in China achieving dematerialization and decarbonization in Suzhou. *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 420-434.

Lin, P. L. (2006). Urban resilience: Energetic principles and a systems ecology approach. *Graduate Institute of Urban Planning, National Taipei University*.

Linstead, C., & Ekins, P. (2001). Mass balance UK: mapping UK resource and material flows. *Royal Society for Natural Conservation*, 12.

Lotka, A. J. (1920). Analytical note on certain rhythmic relations in organic systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 6(7), 410.

Malthus, T. R. (1888). *An essay on the principle of population: or, A view of its past and present effects on human happiness*. Reeves & Turner.

Marx, K. (1861). Theories of Surplus Value, pt 3. *Progress*.

McKinsey Global Institute, (2011). Urban World: Mapping the economic power of cities. *McKinsey and Company*.

MEM. Ministerio de Energía y Minas (2015). Anuario Estadístico de Electricidad 2014.

MINAG. Ministerio de Agricultura (2015). Anuario Estadístico de Producción Agrícola y Ganadera 2015

MTC. Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Advanced Logistics Group, 2011. Plan de desarrollo de los Servicios de Logística de Transporte.

Ngo, N. S., & Pataki, D. E. (2008). The energy and mass balance of Los Angeles County. *Urban Ecosystems*, 11(2), 121-139.

Odum, E. P., Odum, H. T., & Andrews, J. (1971). Fundamentals of ecology (Vol. 3). *Philadelphia: Saunders*.

Odum, E. P. (1975). Ecology, The Link between the natural and the social sciences. *Holt, Reinhart & Winston*.

Odum, E. P. (1989). Ecology and our endangered life-support systems. *Sinauer Associates*.

Odum, H. T. (1996) Environmental Accounting: EMERGY and environmental decision making.

Odum, H. T. (1998). EMERGY evaluation. *Paper presentado en el taller Internacional de Avances en Estudios de Energia: Flujos de Energia en la ecología y la economía*.

O'Neill, B., M. Dalton, R. Fuchs, L. Jiang, S. Pachauri, and K. Zigovad. (2010). Global demographic trends and future carbon emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107(41): 17521–17526.

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

Ostwald, W. (1909). Energetische grundlagen der kulturwissenschaft (Vol. 16). *Klinkhardt*.

Patten, B., Auble, B., (1981) System theory of the ecological niche. *American Nature*.

Patten, B. C., & Odum, E. P. (1981). The cybernetic nature of ecosystems. *American Naturalist*, 886-895.

Piña, W. H. A., & Martínez, C. I. P. (2014). Urban material flow analysis: An approach for Bogotá, Colombia. *Ecological Indicators*, 42, 32-42.

Pickett, S. T., & Grove, J. M. (2009). Urban ecosystems: What would Tansley do?. *Urban Ecosystems*, 12(1), 1-8.

Pomázi, I., & Szabó, E. (2009). Urban metabolism: The case of Budapest. In *Proceedings of 2008 Conaccount Conference, Urban Metabolism: Measuring Ecological City, Charles University Environment Center, Prague* (pp. 351-375).

Ramaswami, A., Weible, C., Main, D., Heikkila, T., Siddiki, S., Duvall, A., ... & Bernard, M. (2012). A Social-Ecological-Infrastructural Systems Framework for Interdisciplinary Study of Sustainable City Systems. *Journal of Industrial Ecology*, 16(6), 801-813.

Raven, P. Johnson, G. (2011). *Biology. McGraw Hill.*

Rosado, L., Niza, S., & Ferrão, P. (2014). A material flow accounting case study of the Lisbon metropolitan area using the urban metabolism analyst model. *Journal of Industrial Ecology*, 18(1), 84-101.

Russi, D., Gonzalez, Martinez, A. C., Silva, Macher, J. C., Giljum, S., Martínez, Alier, J., & Vallejo, M. C. (2008). Material Flows in Latin America. *Journal of Industrial Ecology*, 12(5,6), 704-720.

SEDAPAL (2015). Plan Maestro de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado – Tomo II: Estimación Oferta-Demanda de los Servicios.

Steward, J. H. (1968). The concept and method of cultural ecology (pp. 337-344).

Soddy, F. (1911). *Matter and energy.* H. Holt.

Tansley, A. G. (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16(3), 284-307.

United Nations. (2006). *World urbanization prospects: the 2005 revision.* Department

of Economic and Social Affairs. Population Division.

United Nations, (2010). 2009 Revision of World Urbanisation Prospects. UN Population Division.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2012. Sustainable, resource efficient cities—Making it happen! Paris, France: UNEP Division of Technology, Industry and Economics.

Wachsmuth, David. "Three Ecologies: Urban Metabolism and the Society-Nature Opposition." *The Sociological Quarterly*. 53.4 (2012): 506-523.

Wolman, A. (1965) The Metabolism of Cities. *American Cities*.

Zhang, Y., Yang, Z.F., Yu, X.Y., (2009a). Ecological network and emergy analysis of urban metabolic systems: model development, and a case study of four Chinese cities. *Ecological Modelling* 220, 1431 - 1442.

Zhang, Y., Yang, Z.F., Yu, X.Y., (2009b). Evaluation of urban metabolism based on emergy synthesis: a case study for Beijing (China). *Ecological Modelling* 220, 1690 – 1696

Zhang, Y. (2013). Urban metabolism: a review of research methodologies. *Environmental pollution*, 178, 463-473.

Zucchetto, J., (1975). Energy, economic theory and mathematical models for combining the systems of man and nature, case study: the urban region of Miami. *Ecological Modelling* , 241 – 268