

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Metabolismo urbano

Comprensión entre la ciudad con su
entorno natural

TESINA FINAL DE MASTER

Lizeth Artemisa Sánchez Balvás

Directores: José Juan de Felipe Blanch
Bàrbara Sureda Carbonell

Máster en Sostenibilidad

SUMM lab - Mesura i Modelització de la Sostenibilitat + Energia

Contenido

RESUMEN	5
1. Introducción.....	6
2. Objetivos	8
3. Estado del Arte.....	9
3.1 Metabolismo Urbano	9
3.1.1 Revisión del Metabolismo Urbano basado en casos de estudio... 11	
3.2 Análisis de Flujos Materiales (MFA).....	13
3.3 Fundamento Teórico	14
3.4 Definición del sistema	17
3.5 Categorías y clasificación de flujos	17
3.5.1 Extracción doméstica.....	19
3.5.2 Extracción doméstica no usada.....	20
3.5.3 Importaciones y exportaciones.....	20
3.5.4 Flujos indirectos asociados a las importaciones y a las exportaciones.....	21
3.5.5 Salidas al entorno natural	21
3.5.6 Entradas y salidas de aire, agua y otras sustancias.....	21
3.6 Acumulación.....	21
3.7 Indicadores derivados del MFA.....	22
3.7.1 Indicadores de entrada	22
3.7.2 Indicadores de salida.....	23

3.7.3	Indicadores de consumo.....	23
3.8	Revisión del MFA aplicado a ciudades.....	25
4.	Caso de estudio: Terrassa	26
4.2	Construcción del MFA para el Metabolismo Urbano de Terrassa	28
4.3	Análisis de Flujos Materiales de Terrassa.....	31
4.3.1	Flujos de entrada.....	31
	Biomasa	31
	Combustibles fósiles	33
	Recursos minerales	33
	Agua.....	34
	Flujos exteriores: importaciones y exportaciones.....	34
4.3.2	Flujos de salida.....	35
	Emisiones atmosféricas	35
	Residuos sólidos	36
	Aguas residuales.....	36
5.	Resultados y discusión.....	37
5.1	Flujos de entrada.....	37
	Biomasa	37
	Combustibles fósiles	38
	Recursos minerales	44
5.2	Flujos externos.....	48

Importaciones y exportaciones.....	48
5.3 Flujos de salida	51
Emisiones a la atmósfera	51
Residuos	52
6. Conclusiones.....	54
7. Bibliografía	55

RESUMEN

Las ciudades o áreas urbanas son caracterizadas por la centralización de actividades económicas, una gran población, grandes densidades de materiales en stock, incluyendo altos niveles de flujos de materiales y energía (Niza, 2009); además de grandes problemas de contaminación ambiental.

Actualmente el mayor problema que presentan las ciudades es la linealidad de su metabolismo, es decir para su funcionamiento requiere grandes cantidades de materia y energía que son extraídas de un entorno natural, posteriormente son procesados dentro del territorio urbano y finalmente devueltos al entorno natural en otro estado físico.

Lo ideal, sería cambiar de un modelo de metabolismo lineal a un modelo de metabolismo circular, donde la ciudad pueda ser autosuficiente, lo mayormente posible, y así comenzar la desmaterialización de las economías.

Para entender la relación que tiene la ciudad con su entorno natural, es necesario analizar los flujos de energía y materiales que atraviesan las economías a lo largo del tiempo ((Carpintero Redondo, 2005)).

Por lo que el objetivo de este trabajo es cuantificar los flujos materiales de Terrassa mediante la adaptación de la metodología propuesta por (EUROSTAT, 2001) a una escala a nivel ciudad, en el periodo comprendido de 2005, 2007 y 2008.

Los resultados obtenidos muestran una gran dependencia con el exterior, así como la heterotroficidad que presenta la ciudad al no ser autosustentable.

1. Introducción

Al comenzar el siglo XX, el 14% de la población mundial vivía en ciudades, en la actualidad las ciudades alojan a más del 50% de la gente (Arenillas & Alguacil Gómez, 2003). La Humanidad está dejando de ser mayoritariamente rural y pasando aceleradamente a vivir en las ciudades.

En los países del Norte, pronto el 80% de la población será urbana. Si el ritmo actual continua, es previsible que ese porcentaje se establezca en todo el mundo en un plazo de 30 a 40 años (Arenillas & Alguacil Gómez, 2003).

Por lo tanto las ciudades jugaran un papel importante para lograr un equilibrio entre ciudad y su entorno natural, ya que se sabe que las ciudades son algo más que piedra y hormigón; son además inmensos procesadores de alimento, combustible y todas las materias primas que nutren a la civilización.

Esta preocupación general por el futuro del planeta está impulsando la búsqueda de la sostenibilidad en las ciudades. Algunos autores en España han tomado cartas en el asunto y se han preocupado por aplicar y re-definir la sostenibilidad.

A largo plazo, lograr la sostenibilidad en las ciudades exige varios cambios en las actitudes, la sociedad y el funcionamiento de la economía y en la influencia del pensamiento económico, por lo que el panorama resulta ser desalentador. (Comissió de les Comunitats Europees, 1998).

No obstante en este trabajo, se analiza el metabolismo urbano de Terrassa, como un proyecto y razonar sobre ella con ese fin, prestando atención, no solo a la sostenibilidad local y a corto plazo, sino también a la sostenibilidad global que se deriva de su relación con el territorio.

El trabajo se ha estructurado en 5 apartados los cuales se describen a continuación:

El primer apartado, es la Introducción del trabajo, la cual describe a grandes rasgos la situación actual de las ciudades y la contribución de este trabajo a la mejora de las ciudades. Además de la estructura del trabajo.

El segundo apartado, muestra el estado de arte del trabajo. Se habla del concepto de metabolismo urbano. La diferencia entre el metabolismo de sociedades de base orgánica con el metabolismo de sociedades de base mineral, revisión de los casos de estudio que han incorporado el concepto de Metabolismo Urbano, y la explicación detallada de la metodología para medir los flujos materiales (EUROSTAT, 2001).

El tercer apartado se trata del caso de estudio: Terrassa, se habla de la adaptación de la metodología del MFA para ser aplicada al caso de estudio, las estimaciones realizadas, el origen de obtención de datos.

En el cuarto apartado se presentan los resultados y su análisis.

Finalmente, el quinto capítulo involucra las conclusiones.

2. Objetivos

El objetivo principal es analizar el metabolismo urbano de Terrassa mediante la cuantificación de sus flujos materiales, para el 2005, 2007 y 2008.

Aplicar la metodología del MFA a escalas más reducidas como una ciudad.

3. Estado del Arte

3.1 Metabolismo Urbano

El hombre antes de instalarse en ciudades había adquirido habilidades que facilitaban su supervivencia, sabía cazar, recolectar, domesticar animales, fabricar herramientas y cultivar la tierra. La filosofía de ésta sociedad orgánica se caracterizaba por obtener sus recursos mayoritariamente mediante la gestión del medio biosférico intentando cerrar los ciclos materiales (Cuchi, 2005).

En el momento en que se garantizó la producción de excedentes alimentarios, se abrió las puertas a la creación de ciudades. Lo que define el inicio de la fase urbana de nuestra historia es el establecimiento de poblaciones que no dependen de la caza, agricultura, ganadería de forma directa, sino que obtiene los alimentos por intercambio con campesinos, pudiendo así dedicarse a otras actividades y dar inicio a ciudades industriales (Terradas, 2001).

Con el inicio de las ciudades industriales se ha desarrollado un cambio esencial, vinculado a la industrialización, que comporta un incremento del uso de energía exosomática para mover máquinas, gracias a que las fuentes tradicionales de energía se sustituyen por combustibles fósiles y energía eléctrica de origen térmico, hidráulico o nuclear (Terradas, 2001).

El cambio de una sociedad tradicional de base orgánica a una sociedad industrial de base mineral ha transformado el mundo en un proceso imparable llamado, apropiadamente, revolución industrial, que ha multiplicado paralelamente la población y el consumo material per cápita hasta límites inimaginables para las sociedades tradicionales (Cuchi, 2005).

En términos ecológicos, las ciudades son sistemas heterotróficos, es decir, que dependen de otros sistemas que le suministren continuamente: alimento, agua, o energía (Terradas, 2001); lo cual provoca un movimiento de flujos materiales y energéticos de un lugar a otro.

La gran disponibilidad de energía ha permitido la extracción y aprovechamiento de recursos naturales en cualquier zona del planeta, transportarlos a grandes distancias sin ser cuestionados los impactos ambientales, económicos y sociales que éstos pueden generar.

A pesar de lo anterior, las ciudades son y seguirán siendo los principales centros de transformación, información y de cultura (Doñate i Sanglas, 1993), por lo que es necesario conocer cuantitativamente y cualitativamente los flujos materiales y de energía que tienen lugar en el territorio de una ciudad, desde su origen hasta su destino final (Naredo, 2003).

La noción del metabolismo viene asociada con la cuantificación de flujos de energía y materiales que atravesaban las economías a lo largo del tiempo (Fisher-Kowalski & Haberl, 1997), el principal precursor de la idea de metabolismo urbano fue Wolman, en 1965, que define el metabolismo de una ciudad como todos los materiales y productos necesarios para sostener a los habitantes de la ciudad en casa, en el trabajo y en actividades de ocio (Sahely, Dudding, & Kennedy, 2003).

Se basa en las leyes de la termodinámica y el balance de entradas y salidas. Este concepto fue desarrollado para una ciudad hipotética de América de un millón de personas, y solo ha sido aplicado en la práctica en ciudades pequeñas como Hong Kong, Sídney, Viena y Taipei (Hendriks et al., 2000; Huang, 1998; Newcombe, 1978;; Newman, 1999; Warren-Rhodes & Koenig, 2001). Por lo tanto, este concepto no ha sido aplicado en megaciudades donde la población es mayor a 10 millones de personas (Sahely et al., 2003).

Un análisis del flujo de materiales significa calcular los flujos totales de energía, agua, material y residuos dentro y fuera de una región urbana. En analogía como el metabolismo urbano, las ciudades pueden ser analizadas en términos de su flujo metabólico que se presentan de la absorción, transformación, y almacenamiento de materiales y energía y la descarga de los residuos (Warren-Rhodes & Koenig, 2001). El propósito de contabilizar los flujos materiales es

medir el metabolismo físico de la economía (Ayres, 1989) o incluso de la sociedad para una gestión y planificación adecuadas.

El problema más profundo al que se enfrentan las ciudades es la linealidad de los flujos de materiales que presentan. El sistema metabólico lineal de la ciudad moderna es diferente de metabolismo circular de la naturaleza, donde cada output (desecho) de un organismo también es un input (insumo) que se renueva y mantiene las condiciones del medio ambiente habitable. El patrón lineal de producción, consumo y desecho en nuestras ciudades no se preocupa sobre la sostenibilidad de las mismas. No se considera una relación entre los flujos internos y externos. Definitivamente, el metabolismo urbano actual es totalmente diferente del patrón circular del metabolismo de la naturaleza.

3.1.1 Revisión del Metabolismo Urbano basado en casos de estudio

Mucho antes de que el concepto de desarrollo sostenible surgiera en el campo de la gestión y planificación ambiental, (Wolman, 1965) ya consideraba al medio ambiente urbano como un ecosistema y comenzó a medir su actividad "metabólica".

Esto fue en 1965 cuando el aire y la calidad del agua se deterioraban rápidamente en muchas ciudades estadounidenses. Wolman empleó las facturas de uso de agua, alimentos y combustible y la cantidad de aguas residuales, residuos producidos y los contaminantes del aire para obtener per cápita la cantidad de entrada y salida para una ciudad hipotética estadounidense de un millón de personas (Sahely et al., 2003).

Wolman dio enfoque descendente para determinar los flujos de materiales, incluso con la omisión de algunos insumos, como los materiales de infraestructura, electricidad y otros bienes duraderos, ayudó a centrar la atención en el sistema de selección de los impactos del consumo de bienes y la generación de desechos en las zonas urbanas (Sahely et al., 2003).

El enfoque de metabolismo urbano para las ciudades se siguió estudiando como parte del proyecto de la UNESCO sobre el Hombre y la Biosfera (MAB), proyecto realizado a principios de la década de 1980. Una importante contribución fue hecha por (Newcombe, 1978), que estudió los procesos metabólicos de la ciudad de Hong Kong. A partir de estudios de balances de masa, el estudio de Hong Kong tomó el modelo de metabolismo urbano un paso más allá y se caracterizaron los indicadores físicos de los flujos por la ciudad como las variables sociales que afectan a la población humana, tales como el empleo, la salud, la mortalidad y la satisfacción.

El trabajo pionero de Newcombe (1978) ha sido actualizado por Warren-Rhodes y Koenig (2001). La combinación de estos estudios es de gran alcance en el ámbito de aplicación, como las tendencias en los flujos metabólicos urbanos entre 1971 y 1997. En su transición hacia una economía basada en servicios y la adición de más de 3 millones de personas desde 1971, parece que Hong Kong ha pagado un precio elevado para el medio ambiente con su constante e implacable crecimiento. El consumo per cápita de alimentos, agua y materiales han aumentado un 20%, 40%, y 149%, respectivamente, desde 1971. Además, las emisiones atmosféricas totales, los productos de dióxido de carbono, residuos sólidos municipales, y los vertidos de aguas residuales han aumentado en un 30%, 250%, 245%, y 153%, respectivamente (Warren-Rhodes & Koenig, 2001).

Los estudios de metabolismo urbano llenos de modelos con análisis de tendencia en el tiempo son pocos y distantes entre sí. Un estudio de Newman (1996) destaca el uso de estudios de metabolismo, como parte de un estado de medio ambiente (EMA) reportado para Australia. El estudio compara los flujos metabólicos para Sídney, Australia, entre 1970 y 1990. Aparte de algunos parámetros de calidad del aire, existe una tendencia al alza desconcertante de los insumos per cápita de recursos y la salida de residuos durante el período de estudio (Newman, 1999).

El modelo de metabolismo urbano ha sido utilizado por los ingenieros, planificadores urbanos, y los ecologistas sistémicos. Curiosamente, un enfoque termodinámico a los modelos del metabolismo urbano ha sido presentado por los ecologistas de sistemas (Odum, 1996), el cual, cuantifica los flujos de energía incorporada o "emergida", definida como la cantidad total de energía necesaria, directa o indirectamente para cualquier producto o servicio. Igualmente ésta visión ha sido aplicada a un modelo de metabolismo urbano de la ciudad de Taipei, Taiwán (Huang, 1998).

Un desarrollo más reciente de forma similar al metabolismo urbano es la huella ecológica desarrollada por (Wackernagel & Rees, 1995), ya que la huella ecológica representa la cantidad de tierra que requiere la ciudad para cumplir con sus necesidades metabólicas.

Otro desarrollo, que será detallado en el capítulo 3.2 de éste trabajo, es el Análisis de Flujos Materiales (MFA) que deriva de de conceptos asociados al balance material y energético como expone (Ayres & Kneese, 1969) que es el precursor de nombrar la ecología industrial como "metabolismo industrial" donde el análisis se centra en la cuantificación de flujos de materiales i energía en las sociedades industriales modernas, a través de la cadena de extracción, producción, consumo y destino final.

Cuando se asocia al territorio se hace inicialmente en el ámbito nacional. Sin embargo y como veremos luego, algunas instituciones de investigaciones se muestran interesados en extrapolar la metodología a ámbitos territoriales más reducidos.

3.2 Análisis de Flujos Materiales (MFA)

Se han desarrollado diferentes métodos para cuantificar los flujos materiales que atraviesan las economía tales como:

1. Tablas input –output las cuales abren la “caja negra” de la economía y tienen la intención de trazar los flujos de materiales entre sectores económicos individuales (Scasný, Kovanda, & Hák, 2003).
2. El sistema de cuentas físicas y monetarias *System of integrated Environmental and Economic Accounting* (SEEA) [Sistema de Contabilidad Medioambiental y Económica integrada] de las Naciones Unidas en 1993 (Bartelmus, 2003) donde su objetivo es sostener el crecimiento económico y el desarrollo cualitativo, maximizando el crecimiento económico manteniendo intacto el capital producido natural.
3. Cuentas y balances del requerimiento total de materiales (TMRs) y salidas a nivel macroeconómico. Éste método fue desarrollado durante los 90's por varios institutos de de investigación y organizaciones, principalmente por World Resources Institute, Weppertal Institute for Climate, Environment and Energy, Austrian Institute for Interdisciplinary Studies y EUROSTAT (Scasný et al., 2003), y posteriormente fue estandarizado en una guía metodológica llamada *Economy-wide Material Flows Accounts (MFA) and derived indicators* (EUROSTAT, 2001)

Debido a que la contabilidad o análisis de los flujos materiales (MFA) ensambla el metabolismo urbano con la sostenibilidad al permitir un seguimiento sistemático de los flujos físicos de recursos naturales que entran al sistema y además, es una metodología estandarizada, se ha decidido emplear el MFA como metodología para medir el metabolismo urbano de Terrassa en este trabajo.

3.3 Fundamento Teórico

Dentro de la oficina de estadística de la Unión Europea conocida como EUROSTAT, publicó en el 2001 una guía metodología para el análisis de flujos materiales con el objetivo de armonizar terminología, conceptos, métodos y cálculos, facilitando la elaboración de indicadores a nivel nacional y mejorar la comparación de estudios con otros países.

De acuerdo a la guía, el análisis de los flujos materiales (MFA), con todos sus indicadores derivados, es una herramienta descriptiva que provee información de materiales y energía que entran y dejan en una sociedad/economía con el fin de evaluar el intercambio total de recursos que entran al sistema y se desechan al entorno (EUROSTAT, 2001).

La Figura 1 muestra los flujos de materiales como biomasa, minerales, combustibles fósiles, etc., son extraídos del entorno natural (inputs), para ser transformados en productos dentro del sistema y finalmente devueltos al entorno natural como residuos y emisiones (outputs).

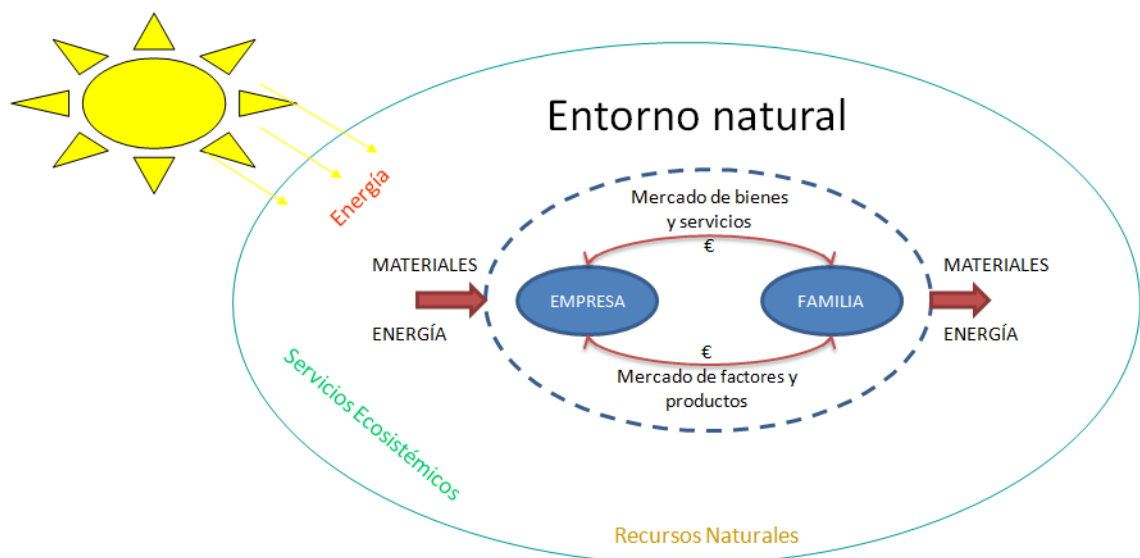


Figura 1 Intercambio físico de materiales entre el sistema (ciudad) y el medio ambiente.

El fundamento teórico del MFA, desde el punto de vista del metabolismo urbano, se considera a la ciudad como un sistema abierto dentro de una biosfera cerrada en materiales pero abierta al flujo de energía procedente del sol. Esto es lo que da pie a considerar el metabolismo urbano como una analogía con los sistemas biológicos donde concurren todas las fases de extracción de recursos, producción (catabolismo) y consumo (anabolismo) de bienes y servicios, incluido el vertido final (excreción) de residuos, tal y como recordaba (Daly, 1996) Figura 1.

Derivado de lo anterior, se impone una perspectiva transdisciplinar a la hora de aplicar el principio de balance de materiales incorporando todos los aspectos relevantes de los flujos en su ciclo de vida, es decir, desde la primera captación de recursos procedentes de la naturaleza hasta la deposición de los residuos al final del proceso.

Por lo tanto, el fundamento teórico para aplicar el MFA en un sistema se basa en las siguientes ecuaciones:

1. Entradas totales = Salidas totales + acumulación neta; o

$$\text{Entrada} + \text{Generación} = \text{Salida} + \text{Acumulación}$$

Donde:

Entrada: es la materia transferida en toneladas por unidad de tiempo del exterior al interior del sistema a analizar.

Salida: es la transferencia de materiales en toneladas por unidad de tiempo, del interior hacia el exterior del sistema.

Generación: es la cantidad de materiales que aparece o desaparece del sistema por unidad de tiempo y unidad de volumen y no ha estado transferida a través de sus límites.

Acumulación: es la variación de la masa en el interior del sistema con el tiempo, es decir una variación del stock de materiales en la economía.

Lo cual significa que la suma de los inputs de materiales es igual a la suma de los outputs más las variaciones del stock.

2. El metabolismo de un sistema = a la suma de los metabolismos de sus componentes + transferencias internas.

La primera ecuación es una deducción del principio de conservación de la materia: *La materia no se crea ni se destruye, solo se transforma*, y la segunda expresión aporta una visión sistémica donde la interdependencia y las relaciones entre los componentes del sistema afloran como la base para mantener su propio metabolismo (Carpintero Redondo, 2005), es decir, abrir la “caja negra” de la ciudad y analizar los flujos materiales que existen entre los diferentes procesos productivos desde el punto de vista de ciclo de vida, de la cuna hasta la tumba. Sin embargo esta visión puede ser mejorada aportando la experiencia de la Ecología industrial que además de analizar el ciclo de vida de los flujos materiales, propone cerrar completamente el ciclo, tratando de imitar lo que sucede en la naturaleza, dar un paso más de la cuna hasta la cuna.

3.4 Definición del sistema

Como en cualquier balance de materiales, es necesario definir y delimitar el sistema además de establecer el periodo de tiempo en que se va a aplicar. Para este trabajo se consideraron tres años para el análisis 2005, 2007 y 2008; y los límites del sistema vienen delimitados por el entorno o límites políticos (administrativos) donde se extraen las materias primas y donde se descargan los materiales en forma de residuos y emisiones siendo el caso del municipio de Terrassa.

3.5 Categorías y clasificación de flujos

En el MFA se pueden incluir todos los materiales movilizados para el funcionamiento del sistema, entren o no en el sistema, analizando todos los materiales asociados al ciclo de vida de un producto. De acuerdo a (Sendra, 2008) los flujos tienen tres dimensiones o categorías:

1. Dimensión territorial: según el origen o destino final de los flujos
 - Domésticos: Flujos extraídos o depositados en el entorno natural del sistema, por ejemplo cultivos en el municipio de Terrassa.
 - Externos: flujos extraídos o depositados fuera de los límites del sistema, por ejemplo productos importados o exportados.

2. Dimensión productiva o en el ciclo de vida: según si los flujos se calculan a partir de los requerimientos de materiales asociados a las cadenas superiores del proceso productivo.
 - Directos: materiales que se incorporan al producto final, por ejemplo las toneladas de gasolina importada.
 - Indirectos: materiales asociados al proceso productivo, que no se acaban incorporando al producto final, pero que se movilizan y son necesarios para su obtención, por ejemplo las toneladas de crudo de petróleo que hay que extraer del entorno natural para producir cada tonelada de gasolina importada.
3. Dimensión del producto: se diferencia entre los materiales que se utilicen o entren al sistema y los materiales movilizadps pero que no son utilizados o no entran en el proceso productivo.
 - Usados o procesados: agrupa todos los materiales movilizadps que entren en el sistema y son utilizados, por ejemplo minerales puros.
 - No usados o No procesados: materiales asociados a la extracción de otros que necesariamente son movilizadps pero no son utilizados ni procesados, por ejemplo tierra movida asociada a la extracción de un mineral.

Si siguiendo esta clasificación a continuación se definen los flujos incluidos en el balance de materia.

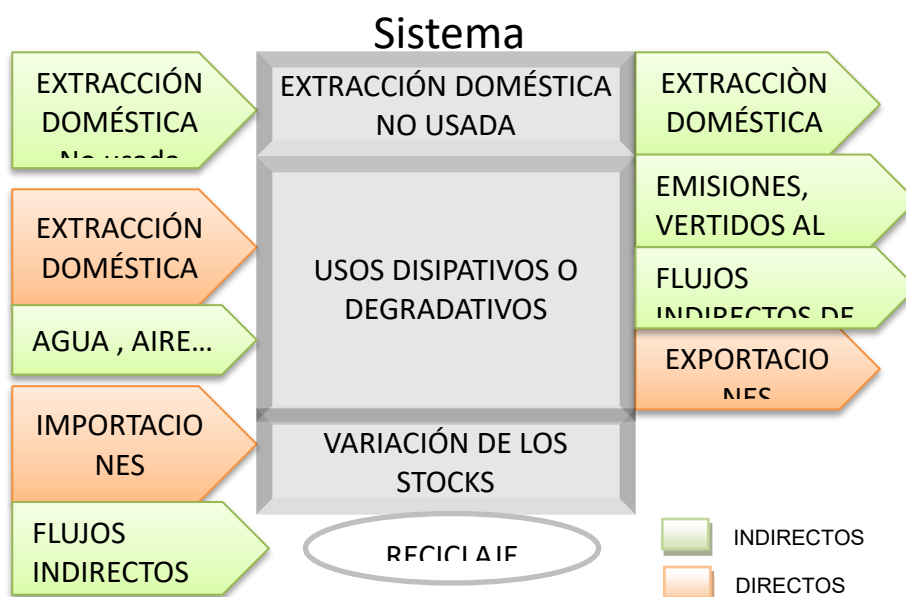


Figura 2 Tipología de flujos considerados en el análisis de flujos materiales (MFA).

3.5.1 Extracción doméstica

La extracción doméstica (DE) es un flujo de entrada que contabiliza los recursos materiales que son extraídos del entorno natural del sistema. Se clasifican en tres categorías:

- Recursos minerales: incluye minerales metálicos, no metálicos y productos de piedra extraídos del entorno natural.
- Biomasa: incluye la biomasa vegetal (productos agrícolas, madera y pastura), caza y pesca. La ganadería no se incluye, ya que se contabiliza el consumo de pienso y pastura por lo tanto, si también se contara el crecimiento del ganado se haría una doble contabilización (Carpintero Redondo, 2005).
- Combustibles fósiles: se incluyen los combustibles fósiles extraídos del territorio (gas natural, petróleo y carbón). Bajo la experiencia de (Sendra, 2008) se propone omitir las fuentes de energía nuclear, hidroeléctrica y de fuentes renovables debido a:
 - La energía nuclear consume una cantidad de masa mínima comparada con la energía obtenida a partir del petróleo, además que los impactos ambientales relacionados con el uranio no se pueden ver reflejados mediante indicadores de consumo de materiales.
 - La energía hidroeléctrica se produce por el flujo de agua, de manera que el material no es transformado directamente, por tanto la masa de agua utilizada para la obtención de energía no será contabilizada.¹

¹ Sin embargo, para trabajos posteriores de MFA en Terrassa, es necesario asegurar la contabilización de impactos ambientales asociados en la fase de construcción y explotación de hidroeléctricas (generación de aceites, polvos, metales y otros residuos) además las toneladas de materiales consumidos en la construcción de las presas.

- Las energías renovables además de suponer un bajo consumo de materiales, las fuentes de energía renovable no se consideran como flujos de materiales de entrada.

3.5.2 Extracción doméstica no usada

La extracción doméstica no usada (DE no usada) son los materiales movilizados debido a la extracción doméstica pero que no se han utilizado en el proceso económico, por ejemplo:

- Recursos minerales y combustibles: sobre extracción minera, contabiliza el conjunto de minerales sin interés práctico asociado a la explotación de un mineral o recurso.
- Biomasa: incluye los desechos de la captura de pesca, subproductos de las cosechas no utilizadas (madera dejada en los bosques, paja, hojas y otros residuos de cosechas).
- Excavación y drenaje: contabiliza las tierras y rocas desplazadas por las actividades de construcción y dragado de puertos y playas.
- Erosión de las tierras: opcionalmente puede ser contabilizado y tratado como un flujo no usado, pero no se incluye en el cálculo de los indicadores.

3.5.3 Importaciones y exportaciones

Las importaciones (I) y exportaciones (E) son todas las entradas y salidas del material de origen o destino de otros sistemas. Para analizar la tendencia del comercio o dependencia del exterior del sistema se pueden clasificar según la tipología del componente principal (biomasa, combustible fósil o recursos minerales) y por el grado de procesamiento diferenciado entre materias primas, productos semi-manufacturados y productos acabados.

3.5.4 Flujos indirectos asociados a las importaciones y a las exportaciones

Se contabilizan los materiales asociados a las importaciones y exportaciones que no son exportados o importados físicamente, es decir, la cantidad de materia prima utilizada y no utilizada para producir los productos importados y exportados, menos la cantidad de producto final.

3.5.5 Salidas al entorno natural

Se refiere a todos los flujos de materiales procedentes del sistema analizado (DE no usada, emisiones al aire, agua y suelo, flujos indirectos asociados a importaciones) y que entren al medio natural que lo envuelve. Estas salidas pueden tener lugar durante y después de los procesos de producción y consumo.

3.5.6 Entradas y salidas de aire, agua y otras sustancias.

Por experiencia se sugiere que los flujos de agua y aire sean contabilizados por separado, debido a que representan un enorme flujo másico; el cual puede interferir en la tendencia global del MFA dejando ver solamente estos dos flujos predominantes y no dejara ver la tendencia del resto (EUROSTAT, 2001; Sendra, 2008).

3.6 Acumulación

Se refiere a la variación del stock de materiales dentro del sistema. Definidos en las cuentas nacionales como infraestructura, edificios, vehículos y maquinaria.

No se contabiliza el crecimiento de la población ni de ganado, debido a que son insignificantes a comparación de los stocks de infraestructuras, edificios, etc. Tampoco se han de contabilizar los vertederos, ya que los residuos se cuentan como un flujo de salida del sistema. La acumulación o variación es calculada como la diferencia entre las entradas y salidas del sistema.

3.7 Indicadores derivados del MFA

Con el fin de proporcionar una visión global del metabolismo del sistema, metodología de (EUROSTAT, 2001) establece un conjunto de indicadores que agrupan los diferentes flujos materiales del sistema. Se dividen en tres grupos de indicadores pertenecientes a: los flujos de entrada, de salida y el consumo del sistema Figura 3.



Figura 3. Definición y cálculo de flujos de entrada y salida del MFA.

A continuación se describen los principales indicadores derivados de la metodología.

3.7.1 Indicadores de entrada

- Entrada Directa de Materiales (DMI): Contabiliza todos los materiales que entran al sistema para ser consumidos o procesados, es decir la suma de la extracción doméstica (DE) más las importaciones (I).
- Entrada Total de Materiales (TMI): Contabiliza las toneladas de material total que se extrae o mueve y entra en el sistema. Es la adición de DMI i la extracción doméstica no usada.

- **Requerimiento Total de Materiales (TMR):** Cuantifica las toneladas totales de material de un sistema. Es la adición del TMI más los flujos de materiales indirectos asociados a las importaciones.
- **Requerimiento Total de Materiales domésticos (TMR doméstico):** incluye la extracción doméstica usada y no usada. Contabiliza el total del flujo material originado en los límites del sistema. TMR doméstico equivale a TMI menos Importaciones. A diferencia de los tres indicadores anteriores, éste es aditivo entre países.

3.7.2 Indicadores de salida

- **Salida doméstica de procesados (DPO):** Es la suma de las emisiones al aire, más los residuos sólidos depositados en vertederos, las descargas de aguas residuales y los materiales dispersos en el entorno natural. Los flujos reciclados no se contabilizan.
- **Salida Doméstica Total (TDO):** mide la cantidad total de materiales que salen del sistema y son dispuestos en la naturaleza. Es la adición entre la DPO más los residuos de la extracción doméstica no usados.
- **Salida Directa de Materiales (DMO):** mide la cantidad total de materiales utilizados que salen del sistema y son depositados en la naturaleza o llevados a otros sistemas. Se obtiene sumando DPO más las exportaciones.
- **Salida Total de Materiales (TMO):** mide la cantidad total de materiales que salen del sistema, se calcula con la suma de TDO más las exportaciones.

3.7.3 Indicadores de consumo

- **Consumo doméstico de materiales (DMC):** Mide el total de material consumido dentro del sistema, siendo la diferencia entre el DMI menos las exportaciones.
- **Consumo Total de Materiales (TMC):** mide el total de material usado asociado con la producción y consumo dentro del sistema, incluyendo los flujos indirectos asociados a importaciones, es decir TMR menos las exportaciones y los flujos indirectos asociados a las importaciones. Es un

indicador agregado a escala nacional como el PIB, que mide el material total usado asociado al consumo del sistema (Sendra, 2008).

- Aumento Neto de los Stocks (NAS): mide el crecimiento físico del sistema y se calcula ya sea, sumando el stock antiguo del sistema más las nuevas infraestructuras, edificios y otros bienes (maquinaria, vehículos, etc.) y se restan los edificios derribados e infraestructuras y otros bienes convertidos en residuos; o se calcula como la diferencia entre el DMC y las salidas hacia la naturaleza de materiales procesados (DPO).

$$\text{NAS} = \text{DMC} - \text{DPO} = \text{DMI} - \text{Exportaciones} - \text{DPO}$$

- Balance Físico del Comercio (PTB): Es una medida del comercio físico del sistema. PTB se calcula restando las importaciones menos las exportaciones. Con tal de incluir dentro del balance del comercio la externalización de las cargas del sistema, se pueden incluir los flujos indirectos asociados a las exportaciones e importaciones.

3.8 Revisión del MFA aplicado a ciudades

Como se mencionó en el capítulo 3.1.1, algunas instituciones o investigadores han extrapolado directamente o adaptado la metodología del MFA a ámbitos territoriales más reducidos como regional o urbano. En la Tabla 1 se encuentran resumidos algunos trabajos consultados para el desarrollo de éste trabajo.

Tabla 1 Estudios de MFA aplicados a escala urbana y regional (ciudad)

Caso de estudio	Escala espacial		Objetivos	Variables	Metodología		Observaciones
	Región	Urbana			MFA	Adaptación de MFA	
Ciudad de Viena 1998, (Hendriks et al., 2000)		X	Principales flujos de materiales antropogénicos, el efecto sobre el medio ambiente, y la dependencia de interior	Procesos clave, sustancias.	X		MFA condujo a identificar sustancias
Región de York 2000, (Barrett, Vallack, Jones, & Haq, 2002)	X		Enfoque en el potencial de calentamiento global de emisiones a la atmósfera	Materiales de entrada, acumulación y salidas	X		Se consideró una serie de elementos clave de consumo.
Región de Catalunya 1990-2004, (Sendra, 2008)	X		Cuentas de flujos físicos de materiales a diferentes escalas.	Materiales de entrada, salida, consumo y acumulación.	X	X	Se destacó el modelo económico de Catalunya.
Ciudad Lisboa 2004, (Niza, 2009)		X	Cuentas de flujos materiales con metodología propia	Consumo de materiales domésticos (DMC)		X	Mayor consumo de materiales no renovables que renovables.

4. Caso de estudio: Terrassa

...Uno estaba dentro de la ciudad; pertenecía o no a ella. Cuando se cerraban las puertas de la villa al anochecer y se retiraba el puente levadizo, la ciudad se aislaba del mundo exterior.

Igual que en un barco, la muralla ayudaba a crear un sentimiento de unidad entre sus habitantes...

Lewis Mumford, La cultura de las ciudades.

Para entender la relación de la ciudad con su entorno natural, es necesario repasar su historia, de ese modo, se comprueba que ellas nacen y crecen impulsadas por un primordial motivo que atrae a las personas hacia un concreto ámbito o asentamiento (Boix Gené & Torrella Niubó, 1977).

La ciudad de Terrassa se sitúa en el extremo nor-occidente de la segunda corona metropolitana, al pie del Parque Natural de Sant Llorenç del Munt y la Sierra de l'Obac, a 30 Km de Barcelona por carretera (Figura 4).

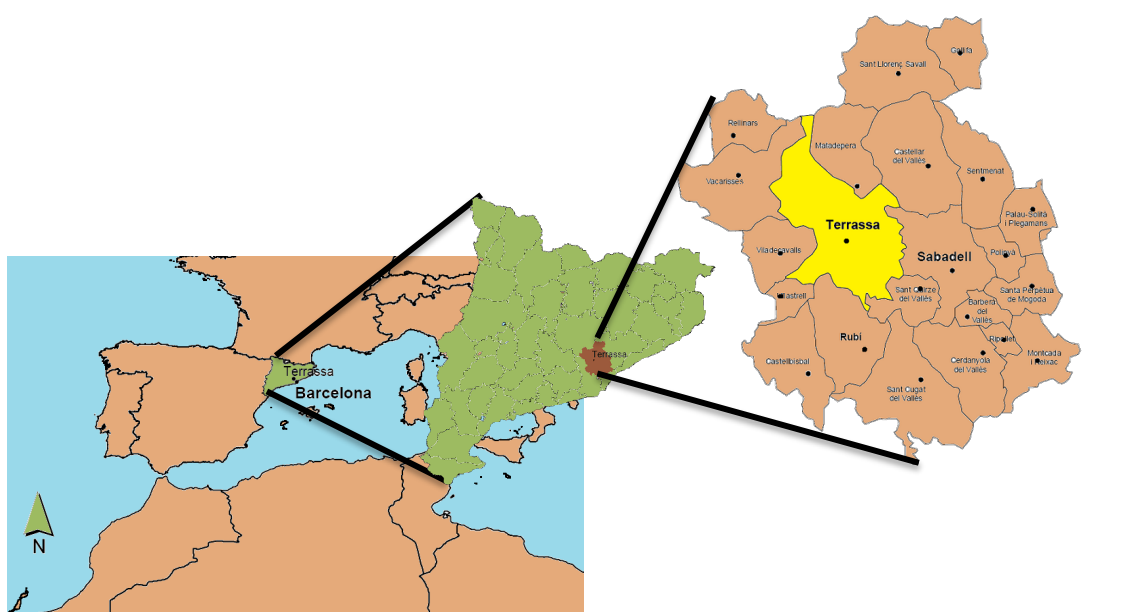


Figura 4 Ubicación geográfica de Terrassa.

Fuente: Ajuntament de Terrassa, Serveis de Sistemes d'Informació, Unitat de SIG i PMH (Ajuntament de Terrassa, 2009).

La población para Terrassa en el 2008 era de 211.793 habitantes, siendo la cuarta ciudad catalana en población.

La ciudad de Terrassa está viviendo un crecimiento poblacional continuo, debido, por un lado, al crecimiento natural de la ciudad y por otro lado por el saldo migratorio, registrándose para el 2008 (último dato disponible) que el mayor número de inmigrantes proceden de Marruecos, España, Ecuador y Senegal. Es significativo el incremento de personas de la comarca de Barcelonés que se trasladan a su casa en Terrassa. El 14,97% de la población en Terrassa es extranjera (2008) (Ajuntament de Terrassa, 2009).

El crecimiento de la ciudad ha ido íntimamente ligado a la Revolución Industrial. En los albores del siglo XX, las factorías de Terrassa fueron pioneras en la producción textil y en la adaptación de los procesos artesanales a la modernidad industrial de las máquinas de vapor. Así, en 1902, el impulso industrial Terrassa creó la Escuela Industrial, con estudios técnicos superiores, que posteriormente ha constituido el núcleo central de la actual Campus de la Universidad Politécnica de Cataluña en la Ciudad. Así pues, la condición industrial ha impregnado la imagen y el carácter actual de la Ciudad, esto es, sus fortalezas y sus debilidades en cuanto a su estructura económica y social. (Ajuntament de Terrassa, 2009).

Acompañando este crecimiento demográfico, aparece una caótica estructura urbana, que ha impreso una particular imagen a la ciudad, caracterizada por una mezcla desordenada de viviendas e industrias, debido a la escasa planificación de entonces y de la proliferación de promociones urbanísticas irregulares, las cuales repercutieron en carencias de equipamientos y servicios básicos. Algunos problemas sociales que todavía hoy en día se detectan en la ciudad son rémora de aquella época (Ajuntament de Terrassa, 2009).

En cuanto al desarrollo de la ciudad, cabe destacar la crisis de los años setenta, que provocó unos niveles de paro muy elevados. Sucedió este periodo un lento proceso de reconversión industrial y de diversificación de la economía local, que contener el paro y lo redujo hasta llegar al mágico año 1992, el año olímpico.

Posteriormente comenzó otra importante recesión, que volvió a elevar el paro durante el año 1993 y llegó al 17%. Los primeros años del siglo XXI se caracterizan por una nueva bajada del paro (7,5% en mayo de 2000), lo que coloca Terrassa como la tercera ciudad de Catalunya con mayor número de trabajadores asalariados, aunque los datos del año 2005 continúan mostrando un aumento de la tasa de paro, que se sitúa por encima del 12% (Ajuntament de Terrassa, 2009).

En cuanto a la estructura empresarial, cabe destacar que el predominio de la industria textil de los setenta ha dejado pasar una diversificación productiva, destacando sobre todo un gran incremento de la actividad terciaria (Ajuntament de Terrassa, 2009).

Por otra parte, cabe destacar el papel de Terrassa en el marco metropolitano, dado que el municipio se convertirá en los próximos años la primera reserva de suelo y techo de la periferia barcelonesa, lo que tendrá repercusiones en la atracción de nuevas localizaciones industriales (Ajuntament de Terrassa, 2009).

4.2 Construcción del MFA para el Metabolismo Urbano de Terrassa

La metodología del MFA fue diseñada para ser aplicada a escala nacional, y mientras se reduce la escala representa mayor dificultad, debido a la escasez de datos.

A pesar de que Terrassa posee una base estadística², ésta no cuenta con los datos necesarios que se demandan para cuantificar los flujos materiales básicos:

- Entradas (Extracción doméstica de recursos naturales e importaciones de materias primas y productos) (unidad másica/tiempo)
- Salidas (emisiones y residuos, exportaciones de materias primas y productos) (unidad másica/tiempo).

² Terrassa en xifres. Disponible en <<http://www2.terrassa.cat/laciutat/xifres/xifres.htm>>. Última Consulta Julio, 2010.

Debido a que Terrassa se caracterizaba por su predominio en la actividad industrial y posteriormente se inclina a favor de los servicios, la extracción de materiales (minerales y combustibles fósiles) dentro del área urbana queda descartada.

En el caso de la actividad agrícola, se logró obtener, por medio de estimaciones, la producción actual de cultivos; sin embargo, no se puede asegurar que dicha producción sea para consumo de la población de Terrassa, o sean huertos independientes. De tal forma que se considera como una producción local.

Por tal motivo, la primera modificación que se realiza a la metodología del MFA, es que todo lo que se consume en Terrassa llega fuera de los límites mismos de la ciudad. Por lo tanto, la Extracción Doméstica en Terrassa no existe para este análisis.

Esto es consistente con los resultados reportados en estudios similares presentados en la Tabla 1, por ejemplo en el caso de Lisboa (Niza, 2009).

Consecuentemente, la Extracción Doméstica se sustituye por las Importaciones, y de acuerdo con la metodología del MFA (EUROSTAT, 2001), el indicador de consumo de materiales está dado por el consumo de material doméstico (DMC), el cual es igual a Extracción Doméstica más Importaciones menos Exportaciones, pero, desde las conclusiones para el caso de Terrassa el DMC es igual a las Importaciones.

Desde el punto de vista de la ecología urbana, se acostumbra distinguir en un ecosistema entre el metabolismo exosomático y endosomático. En una ciudad, considerada como un ecosistemas, el metabolismo endosomático se entiende como el conjunto de todos los procesos que funcionan gracias a un flujo de energía que provee la fijación de energía solar por parte de las plantas verdes y que circula por vía metabólica, en cambio, el metabolismo exosomático es el conjunto de procesos que funcionan gracias a un flujo de energía y materiales subsidiarias (Terradas, 2001).

La segunda modificación de la metodología del MFA, es diferenciar las importaciones, en los diferentes flujos metabólicos, endosomático y exosomático.

Por lo tanto la metodología propuesta para analizar el metabolismo de Terrassa es expuesta en la Figura 5.

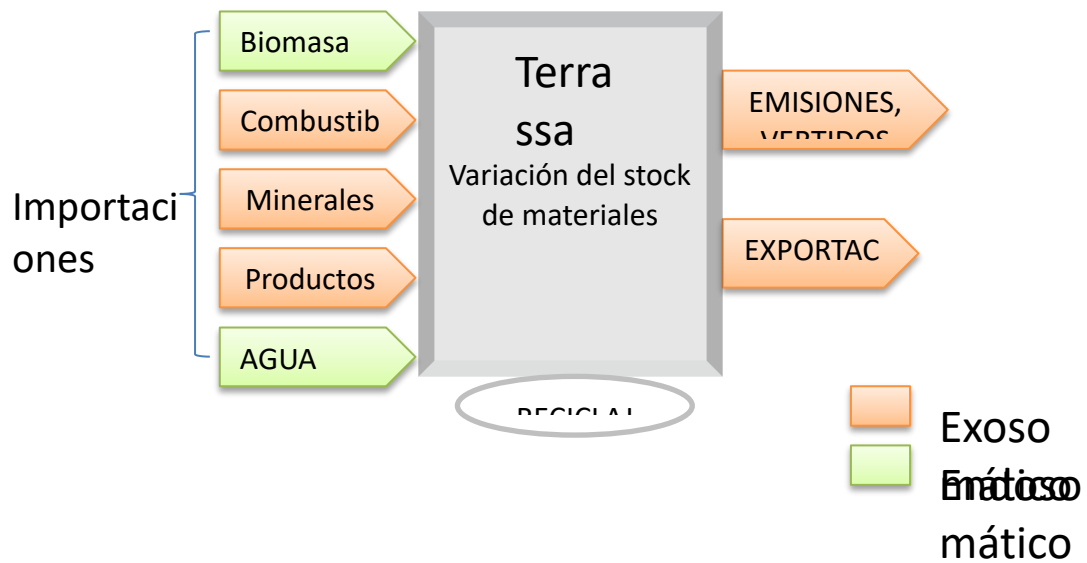


Figura 5 Flujos de materiales en Terrassa

4.3 Análisis de Flujos Materiales de Terrassa

A continuación se presenta la aplicación de la metodología del MFA propuesta y las fuentes estadísticas utilizadas así como las estimaciones correspondientes para la obtención de fuentes estadísticas.

4.3.1 Flujos de entrada

Biomasa

En el sector de la biomasa se incluye la producción agrícola (cereales, leguminosas, forrajes, tubérculos, hortalizas, etc.), los subproductos de los cultivos y las pasturas para los animales. Dentro de los datos estadísticos se tiene en cuenta la producción de biomasa destinada para consumo humano, animal y semillas de reserva.

La biomasa procedente de los bosques y caza no se considera en este trabajo, debido a que los últimos datos reportados para la explotación forestal de los bosques terrassenques son de 1985. La cantidad de madera que se extrajo de estos bosques fue de 17 513 pinos que representa 3 400 t de madera, y de encino se extrajeron unas 3 300 t mientras que de roble no se superaron más de 300 t (Gernain i Otzet, 1987).

La zona de Serralada Pre-litoral de Terrassa perteneciente a los distritos 5 y 6, se caracterizó por ser un área privada de caza, sin embargo, esta práctica se suspendió el 8 de noviembre de 1985 cuando se declaró la zona como Parque natural protegido (Gernain i Otzet, 1987).

La producción ganadera no está contabilizada como flujo de entrada ya que el crecimiento animal sucede dentro del sistema, pero si se contabiliza la alimentación del ganado.

Debido a que el último censo agrario desarrollado en Terrassa en 1999, fue necesario hacer una estimación para conocer la producción agrícola en Terrassa.

La estimación consistió en conocer la proporción que hubo entre la producción agrícola de la provincia de Barcelona con respecto a la de Terrassa para 1999, año del último censo agrario, con esta proporción se pueden extrapolar los datos de los años de interés (2005, 2007 y 2008) de producción agrícola en Barcelona provincia para Terrassa.

Los datos de producción agrícola en 1999 se obtuvieron del Anuario de Estadística de Catalunya para Barcelona (IDESCAT, 1999a) y Terrassa (IDESCAT, 1999b). Y los datos para la producción agrícola en Barcelona en los años 2005, 2007 y 2008 en (DARP, 2010).

Los datos de subproductos de los cultivos especialmente la paja, se encuentra reportada en las estadísticas de Superficies, rendimientos y producciones de los cultivos agrícolas reportados por la DARP (DARP, 2010).

La estimación de los forrajes se ha establecido que el contenido de agua de la biomasa forrajera ha de ser de un 15% en peso (EUROSTAT, 2001). Por este motivo todos los datos estadísticos de producción de Forrajes en verde publicados por el Departamento de Agricultura, Alimentación i Acció Rural (DARP, 2010), se han de corregir y el contenido de agua ha de estar reducido hasta un 15 % usando las siguientes ecuaciones propuestas por (Sendra, 2008):

$$Factor_{mc} = \frac{1 - mc_{fresco}}{1 - mc_{aire\ seco}} = \frac{1 - 0,8}{1 - 0,15} = 0,235$$

$$Pes (15\% \text{ agua}) = Peso \text{ fresco} \times Factor_{mc}$$

Donde:

Factor_{mc}: Factor del contenido de humedad

mc fresco: contenido de humedad en fresco, se ha tomado un valor medio de 80%.

mc aire seco: contenido de humedad en aire seco, se toma por conveniencia un 15%

Combustibles fósiles

Se han contabilizado los consumos energéticos del municipio en el sector primario, sector industrial, sector servicios que incluyen el consumo de potabilización, bombeo y depuración del agua y sector transporte, consumo energético del sector residencial, sector residuos, producción de electricidad renovable.

Los datos se han obtenido del Plan de acción para la energía sostenible en Terrassa (Lacábex, Cadevall, & Canals, 2009).

Recursos minerales

Los minerales contabilizados en esta categoría son considerados no metálicos, como son la grava, arena y roca calcárea.

Las fuentes estadísticas de los minerales no metálicos suelen ser incompletas y poco fiables; por tal motivo es necesario hacer comprobaciones para contrastar la fiabilidad de los datos. De acuerdo con (Sendra, 2008) las comprobaciones son las siguientes:

1. Arena, grava y rocas calcáreas, en Catalunya son materiales básicos para la elaboración de hormigón y la construcción de sub-bases en carreteras. El consumo de éstos materiales necesarios para la fabricación de hormigón y sus productos derivados se puede estimar a partir del consumo anual del cemento, considerando que la intensidad de uso del cemento para la rehabilitación de viviendas³ es de 0,04042 ton/m², y que por cada 0,35 t de cemento es necesario aproximadamente 2,1 t de arena, grava y rocas, para obtener un hormigón de composición media (Sendra, 2008).
2. Por otra parte, el consumo de arena, grava y rocas se puede estimar a partir de los kilómetros de carretera existentes en la ciudad; si se trata de

³ Cantidad propuesta por el personal del grupo de investigación dirigido por el Dr. Albert Cuchí en la Escuela Superior de Arquitectura del Vallès de la Universitat Politècnica de Catalunya, que se ha utilizado en reformas en Catalunya.

nuevas carreteras se necesitan 500 kg/m², y para su mantenimiento se necesitan 153 t/km (Sendra, 2008).

De acuerdo con el anuario estadístico de Terrassa en 2008, existen 18 307 421 m² de suelo construido, si de éste solo se rehabilitó el 0,5 % entonces el consumo de cemento en la ciudad resultó ser de 3 976 toneladas y por consiguiente se consumieron 23 857, 28 t de arena, grava y rocas. Lo mismo se aplicó para los diferentes años.

En el caso de la infraestructura vial de Terrassa, en el 2008 se contabilizaron 430 km de carreteras totales, de las cuales 85 % son de 5 a 7 m de ancho, un 10 % menor de 5 m, y el resto corresponde a autopistas⁴. Se consideró el valor de mantenimiento de 153 t/km para todas las carreteras.

Agua

El agua es uno de los temas más controvertidos del metabolismo urbano debido a que sus flujos son mayores a los demás y por experiencia se sugiere que los flujos de agua sean contabilizados por separado, porque puede interferir en la tendencia global del MFA.

Se contabilizaron los flujos de agua consumida en el sector doméstico Industrial, comercial y otros. Los datos fueron obtenidos del Anuario Estadístico de Terrassa para los diferentes años de estudio (Anuario Estadístico de Terrassa, 2009e).

Flujos exteriores: importaciones y exportaciones

Se realizó una estimación para cuantificar los materiales importados a Terrassa. Los datos estimados fueron clasificados según su contenido mayoritariamente distinguido entre: biomasa, minerales, combustibles fósiles, químicos y resto.

⁴ Consulta directa con el Ajuntament de Terrassa.

Considerando que las importaciones vienen asociadas al consumo de la ciudad, porque ésta no es capaz de producir todo lo que consume (Parés, Pou, & Terradas, 1985), se tomaron en cuenta las importaciones para la provincia de Barcelona y se extrapolaron los datos con respecto a la población de Terrassa.

Para cuantificar las exportaciones de Terrassa se ha tenido en cuenta el valor y el peso de las exportaciones de Barcelona mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{€ exp Terrassa}}{\text{€ exp Barcelona}} = \alpha$$

$$\frac{T \text{ exp Terrassa}}{T \text{ exp Barcelona}} = \alpha \quad \therefore \quad T \text{ exp Barcelona} \times \alpha = T \text{ exp Terrassa}$$

Donde:

€ *exp*: valor de exportaciones en miles de euros.

T *exp*: peso de las exportaciones en toneladas.

α : proporción

Los datos de importaciones y exportaciones, en valor y peso, fueron obtenidos de las Estadísticas de Comercio Exterior en Barcelona en el Instituto de Estadística de Catalunya (Anuario Estadístico de Terrassa, 2009a). El valor de exportaciones de Terrassa se obtuvo del Anuario Estadístico de Terrassa para los años correspondientes (2008, 2007, 2005) (Anuario Estadístico de Terrassa, 2009a).

4.3.2 Flujos de salida

Emisiones atmosféricas

En esta categoría se contabilizan los Gases Efecto Invernadero (GEH) emitidos en el municipio por los diferentes sectores: primario, industrial, servicios, transporte, residencial y residuos. Están directamente relacionados con el consumo energético del municipio y sus unidades están dadas en t CO₂ eq.

Los datos fueron obtenidos de Plan de acción para la energía sostenible en Terrassa(Lacábex et al., 2009).

Residuos sólidos

Se han contabilizado los residuos industriales y los sólidos urbanos, residuos de la construcción, residuos de la ganadería y lodos de la depuración de aguas.

Los datos se obtuvieron del Anuario estadístico de Terrassa para los diferentes años (Anuario Estadístico de Terrassa, 2009b; Anuario Estadístico de Terrassa, 2009f).

Aguas residuales

Se ha contabilizado la cantidad de agua tratada utilizando los datos reportados por la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Les Fonts, perteneciente al municipio de Terrassa (Agència Catalana de l'Aigua, 2009; Ajuntament de Terrassa, 2005).

5. Resultados y discusión

A continuación se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología descrita en el apartado anterior.

Se presenta la estructura y composición de los materiales consumidos para el funcionamiento del metabolismo de Terrassa en 2005, 2007 y 2008. También se presentan los flujos de salida y acumulación en el mismo periodo. Finalmente se compara con la situación de Catalunya.

5.1 Flujos de entrada

Biomasa

La extracción doméstica (DE) de biomasa es dominada por los cultivos agrícolas entre un 70 y 75 % del total, mientras que la paja de un 20 a 25 % y los forrajes de un 2 a 4%.

La DE de biomasa presenta un significativo salto en 2007, de acuerdo a las estimaciones, en este año la producción de cereales (trigo, cebada, avena y melca) y cultivos industriales (girasol y soja) aumentaron un 123 y 38%, respectivamente, con respecto a la producción del 2005. La paja aumentó directamente proporcional al aumentar la producción de cereales. Para el 2008 existe un gran descenso en la producción de todos los cultivos pero significativamente disminuye un 115% en los cultivos de forrajes (Figura 3).

Dichas aumentos o disminuciones pueden ser debidas al clima, mercado entre otras variables.

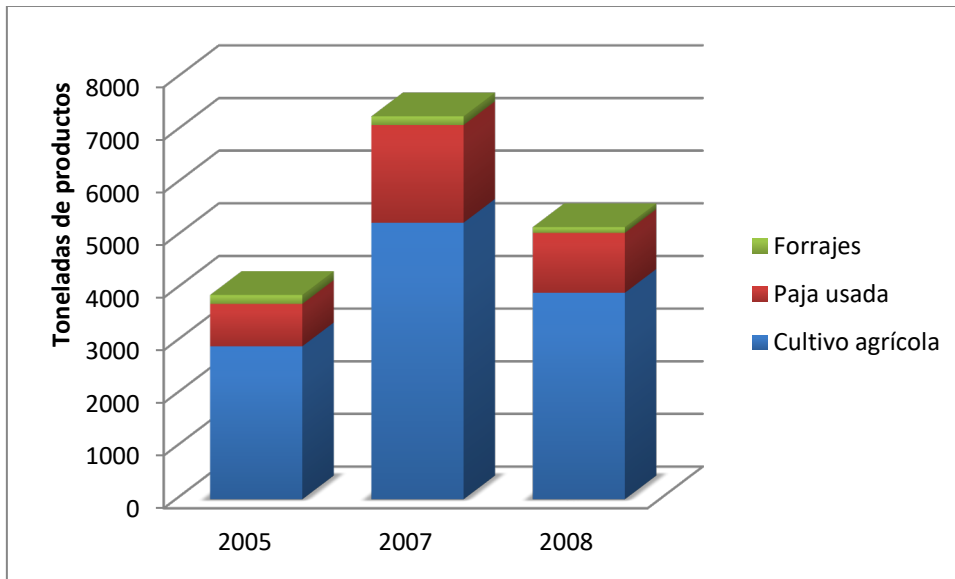


Figura 6 Composición de la Extracción Doméstica de biomasa en Terrassa, 2005, 2007 y 2008.

Combustibles fósiles

A pesar de que los combustibles fósiles no son extraídos dentro del territorio de Terrassa, por lo que no pertenecen a la extracción doméstica; se han considerado parte de ésta como un consumo debido a la importancia y contribución de gases efecto invernadero.

En la siguiente

Tabla 2, se puede observar el descenso de un 6% del consumo de energéticos totales en Terrassa en el periodo estudiado (2005, 2007, 2008). Esta disminución es debida principalmente a la reducción en el consumo de fueloil (-76%), gas natural (-23%), gasolina (-15%) y el GLP (-17%). El consumo de gasoil ha experimentado un ligero aumento del 11%, mientras que la electricidad aumenta ligeramente un 2%.

Tabla 2 Consumos energéticos totales del municipio de Terrassa (toneladas)

Año	2005	2007	2008
Fueloil	7 781	2 771	1 884
GLP	5 501	4 860	4 568
Gasolina	31 577	28 390	26 971
Gas natural	77 673	65 028	59 826
Electricidad	65 937	66 793	67 127
Gasoil	98 641	105 610	109 306
TOTAL	287 110	273 452	269 682

Fuente: Pla d'acció per a l'energia sostenible, 2009. (Lacábex et al., 2009).

Si se analiza los consumos anteriores en función a los sectores responsables de los mismos, se obtiene que en el sector primario se consume 16%, en promedio del periodo analizado, del total de gasoil en todo el municipio.

En la Figura 7 se muestra el combustible con mayor consumo en el sector primario, correspondiente al gasoil con 16 641 toneladas en promedio para el periodo analizado (2005, 2007 y 2008), y en menor medida electricidad y GLP.

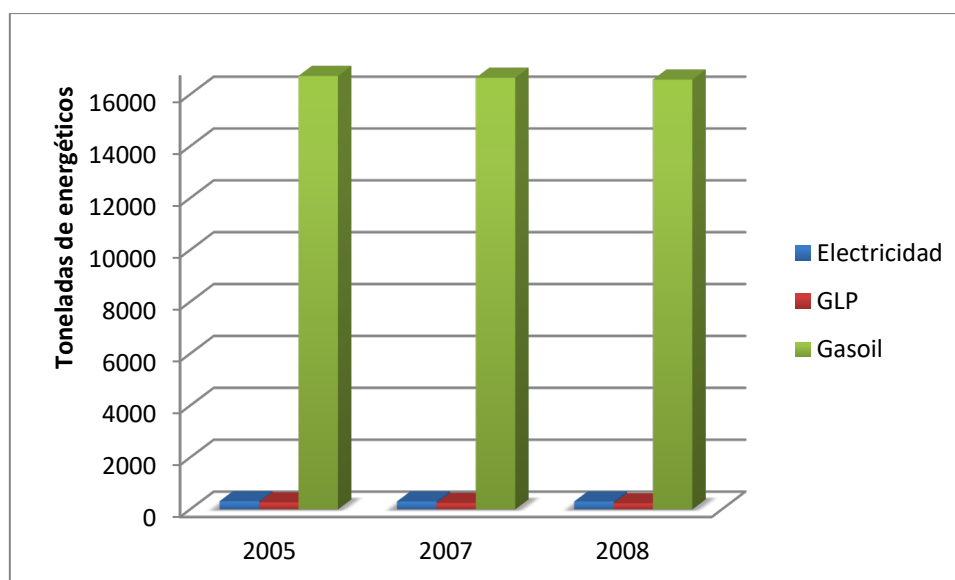


Figura 7. Consumos energéticos correspondientes al sector primario. (Lacábex et al., 2009)

El sector industrial es el principal consumidor de fueloil a nivel de todo el municipio con un 97%, y el resto pertenece al sector servicios.

Globalmente el consumo de energía de todo el sector ha disminuido un 36% del 2005 al 2008. Si se analiza cada combustible, el consumo de fueloil ha disminuido un 76% seguido del gas natural con un 48%, en el 2005 eran las dos principales fuentes de energía en el sector. En menor medida han bajado los consumos de electricidad y gasoil con un 21% y 9% respectivamente (Figura 8).

Por los resultados mencionados, parece ser que se está produciendo una caída del sector industrial en el municipio que puede ser causada por una reestructuración o por el cierre de algunas industrias en la zona.

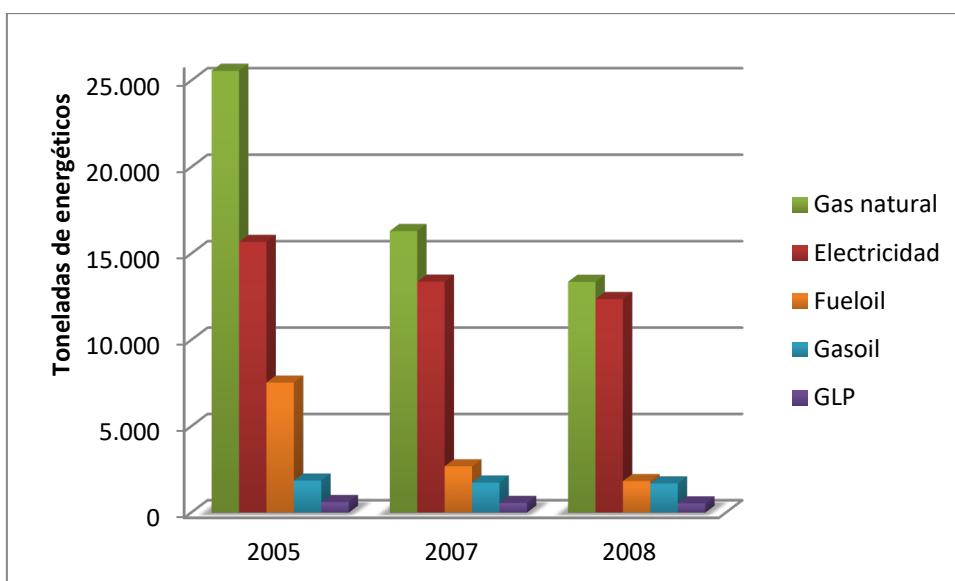


Figura 8 Consumos energéticos del sector industrial. (Lacábex et al., 2009)

El sector de servicios consume el 45% de electricidad total en todo el municipio, seguida del sector residencial e industrial con un 34% y 21% respectivamente.

En la Figura 9 se muestra un aumento en el consumo de electricidad de un 9%, por el contrario el consumo de fueloil ha disminuido 76% en el periodo analizado, el consumo de GLP descendió un 12% junto con el gas natural un 10% y el gasoil un 9%. Estas variaciones pueden ser debidas al cambio de combustibles en el sector.

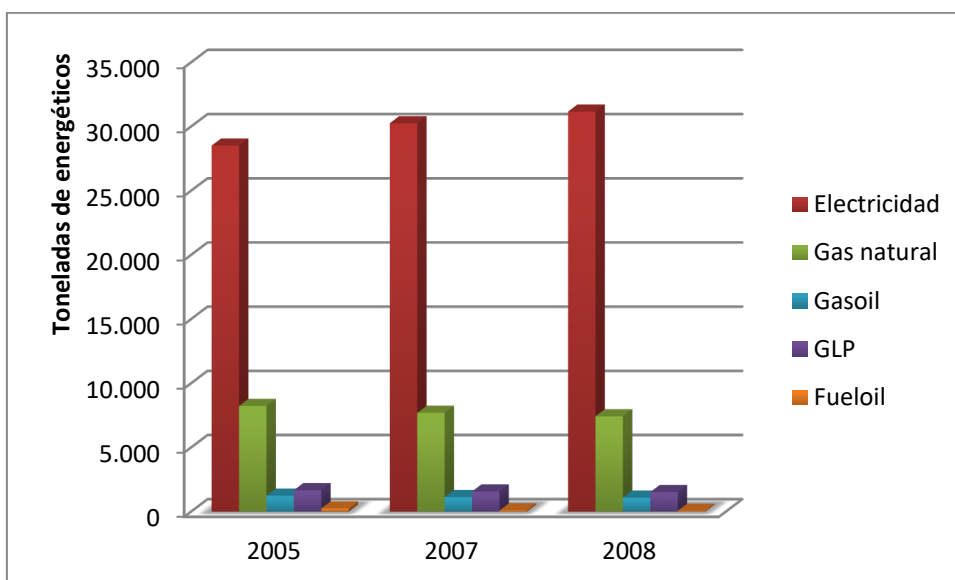


Figura 9. Consumos energéticos en el sector de servicios (Lacábex et al., 2009)

El sector transporte consume el 79% del gasoil, 100% de la gasolina y 3% GLP existente en el municipio.

En el periodo analizado, el consumo de gasoil ha aumentado un 15% mientras que el de gasolina ha disminuido un 15%, lo que supone una sustitución de combustible, por otro lado el consumo de GLP ha disminuido un 13%, pero a comparación de los otros, su consumo es menor (Figura 10).

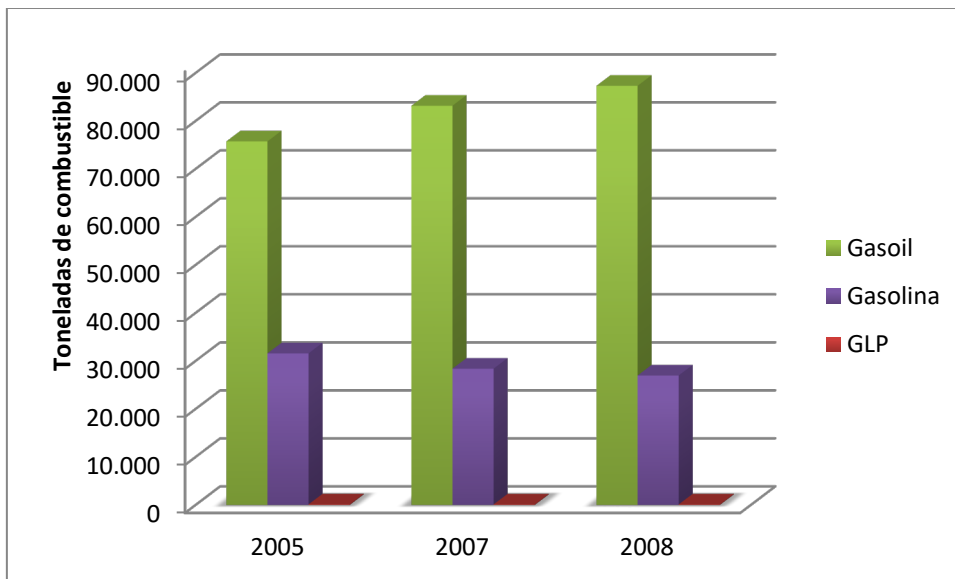


Figura 10 Consumos energéticos del sector transporte. (Lacábex et al., 2009)

El sector residencial consume alrededor del 61% del gas natural en todo el municipio y el 34% de electricidad de acuerdo con los datos obtenidos del plan de acción para la energía sostenible.

El consumo energético global de este sector ha disminuido un 6%. De acuerdo a la Figura 11 el consumo de electricidad ha aumentado un 10%, mientras que el GLP ha disminuido un 20%, junto con el gas natural y el gasoil un 9%.

Lo que parece que en este sector se sustituye el GLP, gas natural y gasoil por la electricidad.

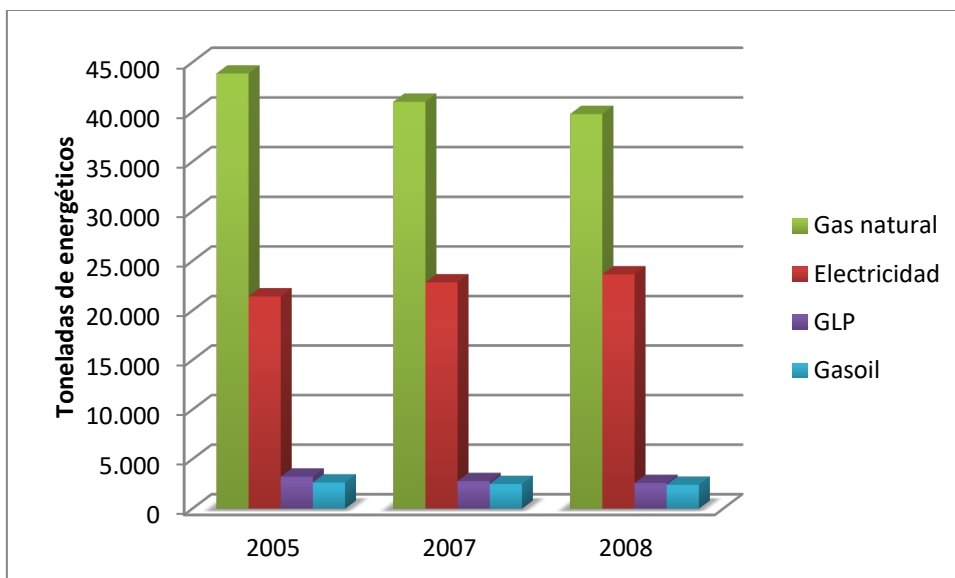


Figura 11 Consumos energéticos del sector residencial. (Lacábex, Beatriz 2009)

El sector de residuos es uno de los responsables de emisiones de gases efecto invernadero ligada al transporte de los mismos. Aunque el consumo energético de Gasoil ya está considerado en la sección de transportes, es necesario mencionarlo para tener en cuenta la contribución de éste sector.

En la siguiente tabla se observa que el consumo energético ha aumentado un 58% del 2005 al 2008.

Año	2005	2007	2008
Transporte residuos-Gasoil	256 086	344 693	405 014

Recursos minerales

Las actividades extractivas en el municipio de Terrassa se encontraban en la parte sur-oeste, actualmente pertenecientes al distrito 4, debido a que el subsuelo está constituido por unos importantes espesores de sedimentos micénicos, especialmente conglomerados y arcillas. Estos materiales fueron de

gran interés para la industria de la construcción motivo por el cual aparecieron numerosas instalaciones industriales ligadas a la extracción de áridos y a la industria de la cerámica (Gernain i Otzet, 1987).

Sin embargo desde 1985 que no se cuentan con datos de extracción de minerales en el municipio.

En la investigación de Cristina Sendra, menciona una metodología para estimar de manera indirecta el consumo de arena, grava y rocas calcáreas a través del consumo de cemento en la superficie construida o rehabilitada y en el mantenimiento de carreteras.

Esta metodología se encuentra descrita en el apartado 0 y los resultados obtenidos son los siguientes.

La superficie construida en el periodo de estudio se muestra en la siguiente Tabla 3.

Tabla 3 Estimación de la superficie construida en Terrassa

	2005	2007	2008
Superficie de suelo construido (m ²) ¹ .	16 298 318	18 125 745	18 307 421
Total de unidades urbanas ¹ .	123 076	138 075	140 694
Licencias de obras a unidades urbanas ² .	2 097	1 119	756
Superficie total construida (m²)	277 695	146 896	98 372

Fuente: ¹Terrassa en xifres, (Anuario Estadístico de Terrassa, 2009d).

²Terrassa en xifres, (Anuario Estadístico de Terrassa, 2009c).

De acuerdo a la estimación, la superficie construida ha disminuido un 64% del 2005 al 2008, lo cual permiten comprobar cómo la ciudad se ha convertido un claro exponente de la crisis en la actividad constructora en Catalunya.

Una vez obtenida la estimación de superficie construida en el municipio se puede calcular el consumo de cemento, que es el indicador que da pie a conocer el consumo de arena, grava y roca.

Tabla 4 Estimación del consumo de minerales no metálicos por superficie de suelo construido en Terrassa.

	Año	2005	2007	2008
Superficie total construida (m ²)		277 695	146 896	98 372
Consumo de cemento (t)		11 224	5 938	3 976
Consumo de arena, gravas y rocas (t)		67 347	35 625	23 857

Por otra parte, también es necesario considerar el consumo de arena, grava y roca en el mantenimiento de carreteras, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5 Consumo de minerales no metálicos en infraestructura vial.

	2005	2007	2008
Longitud total de Carreteras (km)	423	409	430
Indicador mantenimiento (t/km)	153	153	153
Consumo de arena, gravas y rocas (t)	64 719	62 577	65 790

Se ha considerado que se otorgan mantenimientos al total de las carreteras en el municipio, sin embargo si se cuenta con el porcentaje de mantenimiento anual a carreteras se podrían corregir las estimaciones.

Por lo tanto el consumo total de minerales no metálicos que se consumen en el municipio de Terrassa ha disminuido un 32% en el periodo analizado.

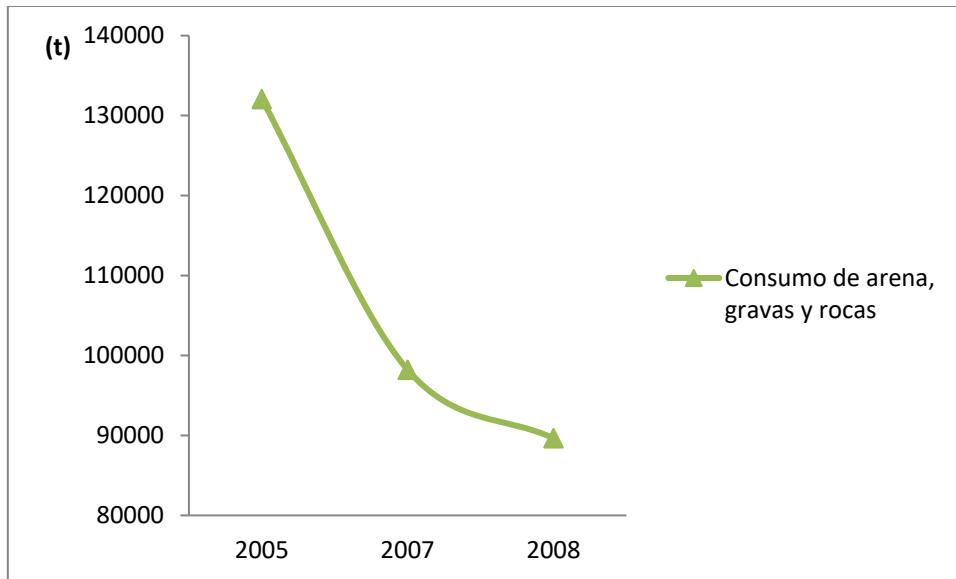


Figura 12 Estimación del consumo total de minerales no metálicos en el municipio.

La disminución es básicamente debido a que Terrassa al igual que otros municipios de área metropolitana de Barcelona han sufrido la crisis en el sector constructivo.

De acuerdo al Análisis de coyuntura de Terrassa en 2009, el ritmo de la edificación no tenía grandes cambios significativos, de hecho para el 2005 se presentaba una cifra record de superficie construida, sin embargo para los próximos años se observó una bajada muy importante del 50%, mostrando un contundente cambio de tendencia raíz de la crisis económica mundial que se manifiesta a mitad del 2008 (Ajuntament de Terrassa, 2009).

Crisis que significa un aliento al ritmo desmesurado de crecimiento urbanístico que ha vivido la ciudad de Terrassa y que da opción a la formación de un nuevo plan de ordenamiento urbanístico municipal, donde se potencialice la ciudad compacta y la rehabilitación de edificaciones.

5.2 Flujos externos

Importaciones y exportaciones

Terrassa tiene una gran dependencia del mercado exterior, tanto por la necesidad de combustibles fósiles, como de minerales, biomasa u otros productos manufacturados.

El análisis realizado muestra una clara falta de autosuficiencia por numerosos recursos, que se traducen en una explotación de los recursos de otros países o regiones.

En este trabajo no se consideró el origen de las importaciones ni el destino de las exportaciones, sin embargo para investigaciones futuras es recomendable realizar dicho análisis para incorporar al metabolismo urbano de una ciudad los impactos ambientales originados fuera de su delimitación política.

Analizando la composición de la estimación de importaciones en Terrassa se observa con mayor dominio los combustibles fósiles, de un 27% a 32% del total de importaciones, seguidos de productos derivados de biomasa, de 19% a 31% del total y finalmente los minerales metálicos y no metálicos que representa del 12% al 15% del total de importaciones (Figura 13).

Todos aquellos productos que no se pueden clasificar, se han considerado como “otros”, son productos que abarcan desde productos textiles hasta juguetes, que representa de un 16% a un 23% del total de importaciones, el hecho que no se puedan clasificar estos productos pueden provocar una mala interpretación de los datos.

Las importaciones pertenecientes a la clasificación de minerales y combustibles fósiles han disminuido un 14% y 4%, respectivamente, en el periodo analizado. En cambio los productos derivados de la biomasa han aumentado un 22%, los productos químicos aumentaron un 8% y los productos restantes (otros) un 50%.

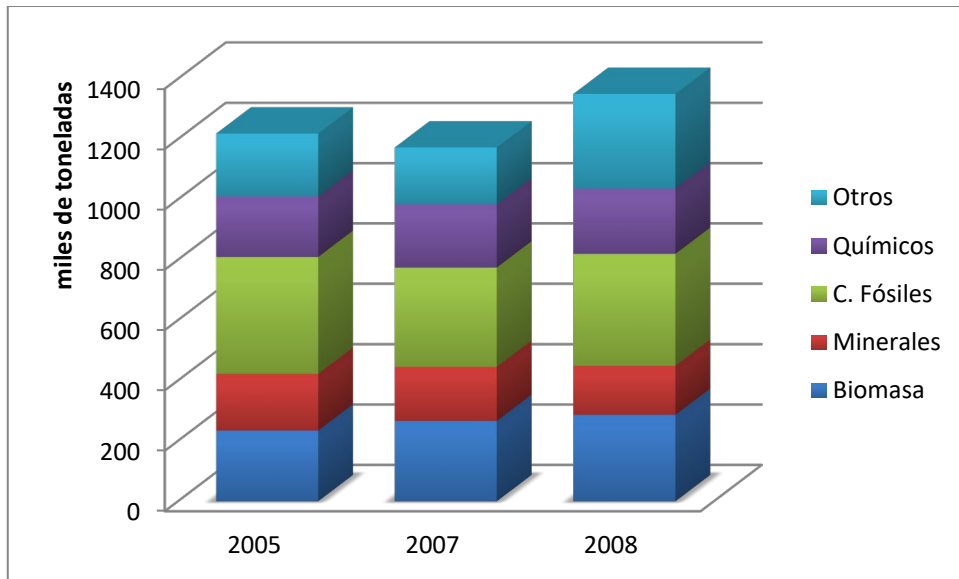


Figura 13 Estimación de Importaciones a Terrassa

Analizando la composición de la estimación realizada para exportaciones en Terrassa, los productos químicos (Industria química y plásticos) representan entre un 50% y 60% de productos exportados.

El resultado anterior se justifica porque, a pesar de que Terrassa ha pasado de ser una ciudad industrial a una ciudad de servicios, la industria clásica (Metal y textil) y la industria más moderna (química y plásticos, papel y artes gráficas, alimentaria) aún siguen teniendo una gran participación en la ciudad de Terrassa. La industria de química y plásticos ha crecido de un 5,05% en 1987 a un 14,95% para el 2009 (Ajuntament de Terrassa, 2009).

Dentro de la clasificación de “otros” se encuentra los productos exportados como: textiles-confección, eléctricos, materiales de óptica e instrumentos de precisión, material de transporte, peletería y marroquinería, calzado y joyería; que a pesar que en la Figura 14 se observa un crecimiento del 29% del 2005 al 2008, la evolución de la Industria en Terrassa ha sido marcada por un “adelgazamiento” progresivo de su estructura que le ha ido restando peso en la economía de la ciudad.

El informe de coyuntura en 2009 menciona que desde el año 2000 se sufre una reducción constante del número de sus trabajadores. A este proceso que ya se producía en un contexto económico favorable, se han añadido recientemente los efectos de una crisis que ha golpeado todos los sectores de actividad (Ajuntament de Terrassa, 2009).

Los productos exportados de minerales y biomasa representan un 10% del total de productos exportados.

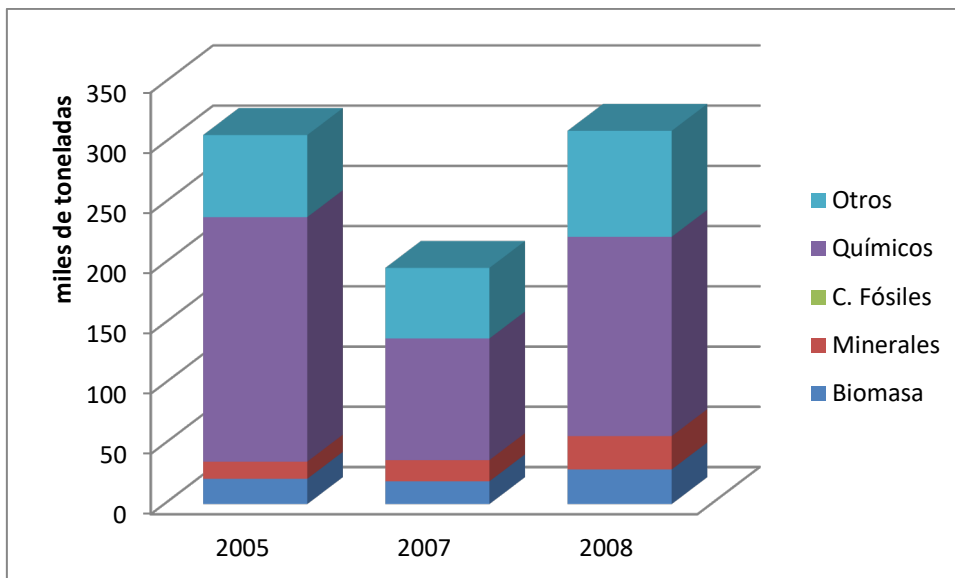


Figura 14 Estimación de Exportaciones de Terrassa.

Para un mejor análisis del metabolismo urbano, es necesario considerar el tipo de transporte utilizado para mover los productos importados y exportados, ya que representan una externalidad ambiental.

En el caso de Terrassa no se realizó por falta de datos, pero en Catalunya se reporta que entre el 70% al 80% del transporte de mercancías entre Catalunya y el estado Español se realiza por carretera, 20% por transporte marítimo, 10% por vía ferroviaria y menos del 0,1% por vía aérea. El transporte de mercancías entre Catalunya y el extranjero presentan estadísticas similares a la anterior solo con un mayor peso el transporte marítimo (Sendra, 2008).

Es sorprendente el bajo peso que tiene el transporte ferroviario para el transporte de mercancías dentro del estado español o en el extranjero, pensando que es más eficiente desde un punto de vista ambiental.

5.3 Flujos de salida

Emisiones a la atmósfera

A partir de los consumos energéticos se han calculado las emisiones asociadas a su consumo. En la Tabla 6 se muestran las emisiones de CO₂ eq correspondientes al tipo de fuente en el periodo estudiado, que en general han tenido la misma evolución que han experimentado en su consumo, excepto en el caso de la electricidad donde mientras el consumo aumenta, las emisiones disminuyen.

En el plan de acción para la energía sostenible en Terrassa, menciona que es debido a que el mix eléctrico utilizado para el cálculo de las emisiones debidas al consumo de electricidad no es estático y varía en función de las diferentes tecnologías que se utilicen para la producción anual de electricidad (Lacábex et al., 2009).

Tabla 6 Emisiones totales de t CO₂ eq por tipo de fuentes

Fuentes	Año	2005	2007	2008
Electricidad		368 785	344 059	332 017
Gas natural		167 893	140 560	129 315
GLP		14 571	12 872	12 100
Gasoil		306 506	328 251	339 740
Gasolina		92 533	83 194	79 034
Fueloil		24 952	8 885	6 042
Residuos		72 617	68 026	65 985
TOTAL		1 047 857	985 847	964 233

Fuente: (Lacábex et al., 2009).

Analizando las emisiones por sectores, se muestra en la Tabla 7 que la mayor contribución es por parte del sector Transporte entre el 31% y 37% del total, seguido por el sector residencial con un 22%. Sin embargo, el sector residencial

a diferencia del sector transporte ha disminuido sus emisiones un 8% en el periodo estudiado.

Con la incorporación de energías renovables en el mix eléctrico, se han podido ahorrar 266 t de CO₂ eq a la atmósfera.

Tabla 7 Evolución de las emisiones de t CO₂ eq por sectores en Terrassa

Sectores	Año	2005	2007	2008
Sector primario		54 526	54 058	53 788
Sector industrial		174 303	119 489	100 968
Sector servicios		186 348	180 475	177 768
Sector transporte		328 792	342 540	349 391
Sector residencial		231 269	221 259	212 409
Sector residuos		72 617	68 026	65 985
TOTAL		1 047 856	985 848	956 273
Producción de energías renovables		30	175	592
TOTAL (con renovables)		1 047 825	985 673	955 680

Fuente: (Lacábex et al., 2009)

Residuos

La recogida de residuos en Terrassa ha experimentado una disminución del 2007 al 2008, pasando de 88 195 toneladas a 86 174 toneladas de residuos. Este descenso de residuos es inversamente proporcional al aumento de población en el municipio, ya que para este periodo la población aumentó de 202 136 habitantes a 206 245 habitantes, es decir 20% más. Por lo tanto para el 2008 cada habitante en Terrassa genera 1,14 kg/día/hab, cifra muy parecida a lo que se generaba en 1991 (1,17 kg/día/hab).

Tabla 8 Generación de residuos sólidos urbanos en Terrassa (t).

	Residuos domésticos	Vidrios	Papel	Pilas	Materia orgánica	Restas	Envases	Muebles	TOTAL
2005	61.991	2.116	6.902	6,88	5.608,28	2.129	2.547	3.789	85.089
2007	59.845	3.068	9.047	3,88	7.154,00	1.683	3.669	3.725	88.195

200	58.024	3.27	9.14	7,9	7.263,0	1.23	4.185	3.036	86.17
8		8	3	7	0	7			4

Fuente: (Anuario Estadístico de Terrassa, 2009b).

La composición de los residuos y su potencial de recuperación ha experimentado cambios importantes gracias a la política de recogida selectiva iniciada. La progresiva implantación de la separación en origen de los diferentes tipos de residuos (vidrio, papel, pilas, materia orgánica, envases, muebles, etc.) ha permitido separar, durante 2008, hasta el 33% de los residuos, concretamente 28 150 toneladas, cuando hace sólo 10 años este porcentaje apenas llegaba al 9% (6 558 toneladas) (Ajuntament de Terrassa, 2009)

(

. La producción de residuos domésticos no separados por habitante y año se ha reducido pasando de los 428 kg/ hab/ año de 1991 a los 273 kg/ hab/año de 2008.

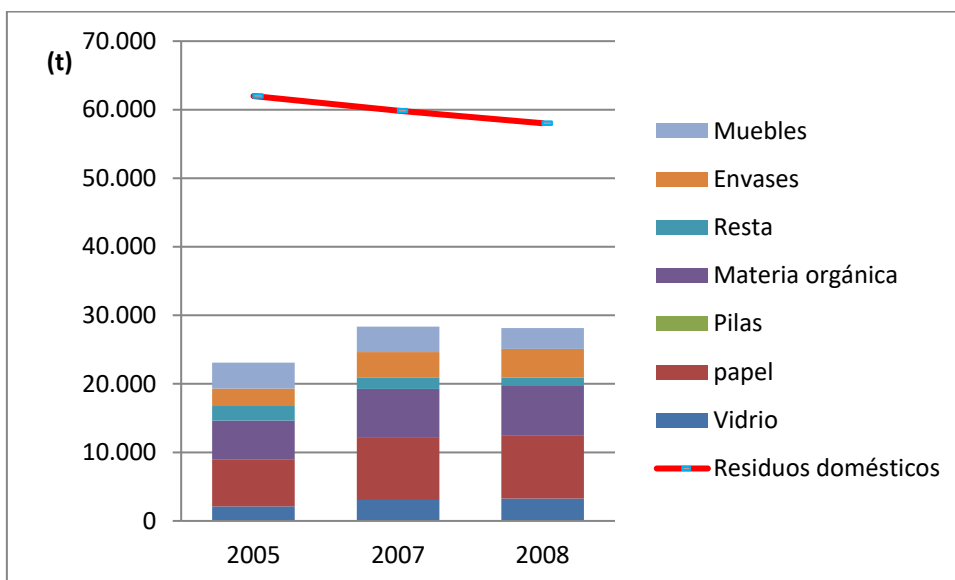


Figura 15 Composición de residuos generados en Terrassa. (Anuario Estadístico de Terrassa, 2009b).

6. Conclusiones

Los problemas relacionados con la sostenibilidad tienen mucho que ver con la dinámica del metabolismo extendido por sociedades industriales, donde su ritmo de utilización de recursos agotables las aboca a problemas de escasez creciente por el lado de los inputs, pero también a inconvenientes graves por el lado de los outputs, habida en cuenta la incapacidad de la biosfera para absorber los residuos generados por este modo de producción.

El análisis presentado muestra una fuerte materialización que ha tenido la economía de Terrassa en el periodo analizado del 2005 al 2008, por su gran dependencia con el mercado exterior, para poder satisfacer las necesidades de la ciudad en general.

Falta complementar

Ideas--→ Cambio de la estructura y funcionalidad de la ciudad, pasando de una ciudad eminentemente industrial con altos inputs y outputs a una ciudad eminentemente residencial, que sigue creciendo demográficamente pero sus consumos se moderan

7. Bibliografía

Agència Catalana de l'Aigua. (2009). *Fichas estaciones de depuración de aguas residuales. terrassa*. Retrieved Mayo, 2010, from http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/depuradores_servei/dtrs_edar_terrassa.pdf

Ajuntament de Terrassa. (2005). *Model de sanejament de terrassa*.
Unpublished manuscript.

Ajuntament de Terrassa. (2009). *L'informe de cojuntura de terrassa 2009*.
Retrieved Junio, 2010, from
<http://www2.terrassa.cat/laciutat/xifres/ic09/portadaic09.htm>

Anuario Estadístico de Terrassa. (2009a). *04.04.01.02 evolución de las exportaciones de las empresas de terrassa*. Retrieved Abril, 2010, from
<http://www2.terrassa.cat/laciutat/xifres/A2009/indexanu0904.html>

Anuario Estadístico de Terrassa. (2009b). *11.04.01 recogida de residuos. 1991-2008*. Retrieved Abril, 2010, from
http://www2.terrassa.cat/laciutat/xifres/A2009/a11/A09_11-04-01.pdf

Anuario Estadístico de Terrassa. (2009c). *18.03.01 llicències d'obres menors*.

Retrieved Abril, 2010, from

http://www2.terrassa.cat/laciutat/xifres/A2009/a18/A09_18-03-01.pdf

Anuario Estadístico de Terrassa. (2009d). *18.10.06 cadastre. districtes y barris*.

Retrieved Abril, 2010, from

http://www2.terrassa.cat/laciutat/xifres/A2009/a18/A09_18-10-06.pdf

Anuario Estadístico de Terrassa. (2009e). *Consum d'aigua a terrassa. consum según tipus d'ús. 1998-2008*. Retrieved Mayo, 2010, from

http://www2.terrassa.cat/laciutat/xifres/A2009/a05/A09_05-01-01.pdf

Anuario Estadístico de Terrassa. (2009f). *Residuos industriales declarados*.

grupo de residuos 2007. Retrieved Abril, 2010, from

http://www2.terrassa.cat/laciutat/xifres/A2009/a11/A09_11-09-04.pdf

Arenillas, T., & Alguacil Gómez, J. (2003). *Ecología y ciudad :Raíces de nuestros males y modos de tratarlos*. Barcelona: Ediciones de Intervención Cultural.

Ayres, R. (1989). ***Industrial metabolism, technology and environment***.

Washington DC: National Academy Press.

Ayres, R., & Kneese, A. V. (1969). Production, consumption and externalities.

American Economic Review, 59, 282-297.

Barrett, J., Vallack, H., Jones, A., & Haq, G. (2002).

A material flow analysis and ecological footprint of york. technical report.

(Técnico. Stockholm, Sweden:

Bartelmus, P. (2003). Desmaterialización y mantenimiento del capital: Las dos caras de la moneda llamada sustentabilidad. *Sustentabilidad y Globalización :Flujos Monetarios, De Energía y De Materiales*, , 67.

Boix Gené, J., & Torrella Niubó, F. (1977). *Tarrasa :1877-1977 : Cien años de urbanismo*. Terrassa: Caixa d'Estalvis de Terrassa.

Carpintero Redondo, Ó. (2005). *El metabolismo de la economía española :Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000)*. Teguiise: Fundación César Manrique.

Comissió de les Comunitats Europees. (1998). *Ciudades europeas sostenibles :Informe*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.

Cuchi, A. (Ed.). (2005). *Arquitectura y sostenibilidad. colección de temas de tecnología y sostenibilidad*. Barcelona: CITIES, Universitat Politècnica de Catalunya.

Daly, H. E. (1996). *Beyond growth: The economics of sustainable development*.. Boston: Beacon Press.

DARP. (2010). *Superfícies, rendiments i produccions dels conreus agrícoles. barcelona provincia*. Retrieved Abril, 2010, from <http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR/menuitem.5fbcc9934b5f463053b88e10b031e1a0/?vgnextoid=2d53361d78b24110VgnVCM1000000b0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=2d53361d78b24110VgnVCM1000000b0c1e0aRCRD>

- Doñate i Sanglas, I. (1993). La regulación legal del ecosistema urbano. *Medi Ambient, Tecnologia i Cultura. Repensar La Ciutat.*, 5, 119.
- EUROSTAT. (2001). *Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A metodological guide*. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities.
- Fisher-Kowalski, M., & Haberl, H. (1997). *Tons, joules and money: Modes of production and the sustainability problems*. Society and Natural Resources.
- Gernain i Otzet, J. (1987). *El medi i l'home a terrassa*. Barcelona: Ajuntament de Terrassa.
- Hendriks, C., Obernosterer, R., Muller, D., Kytzia, S., Baccini, P., & Brunner, P. H. (2000). Material flow analysis: A tool to support environmental policy decision making. case studies on the city of vienna and the swiss lowlands. *Local Environment*, 5, 311-328.
- Huang, S. (1998). Urban ecosystems, energetic hierarchies, and ecological economics of taipei metropolis. *Journal of Environmental Management*, 52(1), 39-51. doi:DOI: 10.1006/jema.1997.0157
- IDESCAT. (1999a). *Censo agrario. barcelona provincia*. Retrieved Abril, 2010, from <http://www.idescat.cat/territ/BasicTerr?TC=6&V0=5&V3=101&ALLINFO=TRU&PARENT=100&CTX=B&V1=08&VOK=Confirmar>
- IDESCAT. (1999b). *Censo agrario. municipio de terrassa*. Retrieved Abril, 2010, from

<http://www.idescat.cat/territ/BasicTerr?TC=6&V0=1&V1=08279&MN=1&&V3=101&PARENT=100&CTX=B#FROM>

- Lacábex, B., Cadevall, M. & Canals, R. M. (2009). *Pla d'acció per a l'energia sostenible. inventari d'emissions de GEH*. Retrieved Abril, 2010, from http://www.terrassa.org/Front/final/_YJxQFCkYh8wnNxx4vm5jbZ05RvxekupU_NYeNiFovPFQvEYUNIMhtg
- Naredo, J. (2003). El metabolismo económico de la conurbación madrileña. 1984-2001. *Economía Industrial*, (351), 87-114.
- Newcombe, K. (1978). Metabolism of a city: The case of hong kong. *Ambio*, 7(1), 3-15.
- Newman, P. W. G. (1999). Sustainability and cities: Extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning*, 44(4), 219-226. doi:DOI: 10.1016/S0169-2046(99)00009-2
- Niza, S. (2009). Urban metabolism: Methodological advances in urban material flow accounting based on the lisbon case study. *Journal of Industrial Ecology*, 13(3), 384-405.
- Odum, H. (1996). *Environmental accounting: Emery and environmental decision making*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Parés, M., Pou, G., & Terradas, J. (1985). *Descobrir el medi urbà. ecologia d'una ciutat: Barcelona*. Barcelona, España: Ajuntament de Barcelona-Publicacions.

- Sahely, H. R., Dudding, S., & Kennedy, C. (2003). Estimating the urban metabolism of canadian cities: Greater toronto area case study. *NCR Research Press*, 30, 468-483.
- Scasný, M., Kovanda, J., & Hák, T. (2003). Material flow accounts, balances and derived indicators for the czech republic during the 1990s: Results and recommendations for methodological improvements.45(41-57) Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6VDY-488Y6N5-2V&_cdi=5995&_user=1517299&_pii=S0921800902002604&_orig=search&_coverDate=04%2F30%2F2003&_sk=999549998&view=c&wchp=dGLbVlb-zSkWA&md5=3ef0ebc033d5eae9b2af2ea843b03e61&ie=/sdarticle.pdf
- Sendra, C. (2008). Anàlisis dels fluxos de materials de sistemes. Universitat Autònoma de Barcelona). Retrieved from <http://www.tesisenxarxa.net/>
- Terradas, J. (2001). *Ecología urbana*. España: Rubes.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1995). *Our ecological footprint: Reducing human impact on earth*. Philadelphia: New Society.
- Warren-Rhodes, K., & Koenig, A. (2001). Escalating trends in the urban metabolism of hong kong: 1971–1997. *Ambio*, 30(7), 429–438.
- Wolman, A. (1965). The metabolism of cities. *Scientific American*, 213, 178-193.