

## DISEÑO DE LA SIMBIOSIS AMBIENTAL PRODUCTO-EDIFICIO PARA LA CERTIFICACIÓN SOSTENIBLE

Antonio García-Salguero, Francisco Aguayo-González, Juan Ramón Lama-Ruiz y María Estela Peralta-Álvarez

Escuela Politécnica Superior UNIVERSIDAD DE SEVILLA, C/ Virgen de África, nº 7 41011 Sevilla. Tfno: +39 954 552827  
[antoniogarsal@gmail.com](mailto:antoniogarsal@gmail.com)

Recibido: 1/jul/2013 -- Aceptado: 13/nov/2013 - DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/ES5886>

### *ENVIRONMENTAL DESIGN OF PRODUCT-BUILDING SYMBIOSIS FOR SUSTAINABLE CERTIFICATION PROGRAMS*

#### **ABSTRACT:**

The *Genomic Model of Ecodesign and Eco-innovation (MGE2)* proposes a methodology to design sustainable products and systems within the *C2C paradigm*; its main objective is to optimize any system interactions with the environment, taking into account the circular economy's perspective (in other words, it promotes the economy change from scarcity to abundance). In its first phase, a set of techniques were integrated in a generic model, in which the ecological was the most developed dimension (with it was possible to obtain metabolizable and eco-friendly products and systems). This paper describes the second phase of our research in which the MGE2 is broadened through the integration of different techniques with Life Cycle Assessment (LCA), all of these in order to assess ecological sustainability of products and systems, including also economy and equity dimensions with a comprehensively and completely method. Material and substance flow analysis widen ecological assessment; they separated all the flows involved in the system (including control impacts, toxicity control, closed-loop metabolic analysis - of biological and technical materials-, energy analysis, flow analysis waste and end of life management); eco-costs are taken as basic measurement units to make visible product's environmental impact and its interaction with the environment is studied throughout the life cycle with the aim to define social product responsibility. Finally, current developments in environmental certification field are considered; MGE2 keeps ISO and C2C certification to design and evaluate products, which can be integrated in built environment with LEED requirements. This possibility makes MGE2 in a complete methodology of engineering that creates a product-building symbiosis and promotes the industrial ecology's holistic principle.

**Keywords:** Sustainability, Ecodesign, Genomic Model of Ecodesign and Eco-innovation, C2C, LEED, Life Cycle Assessment, Material and substance flow analysis, energy analysis, environmental certifications.

#### **RESUMEN:**

El Modelo Genómico de Ecodiseño y Ecoinnovación (MGE2) propone una metodología aplicable al diseño y desarrollo de productos y sistemas sostenibles dentro del paradigma C2C con el objetivo de optimizar las interacciones de cualquier sistema con el medio, desde los principios de la economía circular (es decir, promoviendo el cambio de la economía lineal de la escasez actual a la circular de la abundancia). En su primera formalización, el modelo integró un conjunto de técnicas de diseño que englobaban los tres ámbitos de la sostenibilidad de una forma genérica, desarrollando con un carácter más concreto el diseño y análisis de la vertiente ecológica (obteniendo productos metabolizables y ecocompatibles).

El presente trabajo se sustenta en una segunda fase de investigación donde se amplía dicho modelo integrando diferentes técnicas con el Análisis de Ciclo de Vida para evaluar la sostenibilidad ecológica e incluyendo el estudio de la dimensión económica y social de forma integral. A través de las técnicas de *Análisis de Flujo Material y Sustancia* se amplía la evaluación ecológica descomponiendo todos los flujos involucrados en el sistema incluyendo control de materiales, de la toxicidad, energético y análisis metabólico de ciclos cerrados. Los eco-costes son tomados como factores de medida básica para la visibilidad del impacto ambiental asociado y se aplica el estudio de interacción del producto con el medio a lo largo de su ciclo de vida para definir el concepto de responsabilidad ampliada del productor.

Por último y teniendo en cuenta las evoluciones en materia de certificación ambiental, se completa el alcance del MGE2 ampliando sus límites de aplicación al considerar la posibilidad de diseñar ecológicamente productos certificables bajo normas ISO y C2C integrables en entornos edificados y edificables con requerimientos LEED, creando de este modo una simbiosis de certificaciones y articulando el principio holístico de la ecología industrial.

**Palabras clave:** Sostenibilidad, Ecodiseño, Modelo Genómico de Ecodiseño y Ecoinnovación, C2C, LEED, Análisis de Ciclo de Vida, Análisis de Flujo de Materiales y Sustancias, Análisis Energético, Certificaciones Ambientales.

## 1.- INTRODUCCIÓN

La solución a la situación actual de crisis económica supone un cambio de modelo [1] que conlleva evolucionar de una economía lineal de la escasez, la cual está fomentando la utilización de recursos limitados del planeta para satisfacer necesidades sociales que generan grandes escenarios insostenibles al final de la vida útil de cada producto o servicio, a una economía circular de la abundancia que fomente la libertad, la equidad y la sostenibilidad aportando soluciones adecuadas a la demanda social pero creando riqueza.

La economía y la industria debieran organizarse con planteamientos que gestionen los recursos necesarios para satisfacer las necesidades humanas de bienestar y calidad de vida, pero el ritmo de consumo y la estructuración actual de la producción han convertido la economía en un régimen de escasez con un enfoque top-down, donde el mercado impone lo adecuado sin importar la capacidad de recuperación del planeta y donde la sociedad se ha visto inmersa en un bucle de consumo que guía a agotar aquellos recursos que serán necesarios a medio-largo plazo para cumplir con el bienestar de generaciones futuras. Esta situación determinará que el desarrollo tecnológico desperdicie recursos y esfuerzo en la creación de soluciones que rectifiquen el problema ambiental y social generado. La actual estructuración de la producción industrial está convirtiendo la economía en el propio problema de escasez, en la cual se satisfacen las necesidades ilimitadas destruyendo el capital ambiental natural, es decir generando pobreza en lugar de riqueza y olvidando el objetivo por el cual fue planteada como herramienta de obtención y gestión de soluciones.

Por lo tanto es necesario dimensionar la economía según el enfoque de “abundancia” utilizándola como medio para el correcto reparto de los recursos en relación a la capacidad de acogida del planeta y teniendo en cuenta que las necesidades sociales no deben ser ilimitadas, sino las suficientes para conseguir la calidad de vida y bienestar personal, permitiendo el cese voluntario de gasto de recursos (enfoque bottom-up); todo esto debe llevarse a cabo según un modelo que conlleve una forma de organizar la actividad político-económica en un reparto equitativo del valor creado en actividades productivas industriales para los diferentes agentes sociales y para los diferentes territorios, constituyendo un modelo de desarrollo a escala humana como propuso Max-Neff [2].

Esta situación será posible si se adoptan los nuevos paradigmas sostenibles surgidos en las últimas décadas. Dentro de los distintos paradigmas [3] que se configuran como solución en la organización de la actividad productiva sostenible se encuentra el paradigma C2C. Establecido por sus autores [4] con carácter bioinspirado, emplea en todas sus aplicaciones las premisas *residuo igual a alimento, uso de energías renovables y fomento de la diversidad* y organiza la actividad industrial sostenible en tres dimensiones, formando una simbiosis en los diferentes niveles de actividad: producto, entorno construido de uso y ambiente industrial, urbano y social [5].

Tomado como base la teoría económica, social y ambiental, el grupo de investigación Diseño Industrial e Ingeniería del Proyecto y la Innovación TEP022, desarrolla una metodología integral de diseño que engloba todos los progresos en materia sostenible. Las investigaciones han dado como resultado la articulación de un modelo de diseño y desarrollo de productos denominado *Modelo Genómico de Ecoinnovación y Ecodiseño (MGE2)* [5,12-16] asentado en la perspectiva sostenible de la triple E (3E) [4], orientado a los términos definidos en el paradigma Cradle to Cradle (C2C) [5], siendo reforzada su aplicación con las estrategias del diseño biomimético [8], la perspectiva de la ecoefectividad [13] y el análisis de ciclo de vida (ACV) [9,10,13] teniendo como objeto la incorporación sostenible del producto en el ecosistema industrial o urbano y promoviendo una nueva plataforma para el desarrollo de una segunda *revolución industrial*. En este trabajo se presenta la evolución del modelo MGE2 con nuevas aportaciones [16] que han permitido la mejora de la metodología inicialmente propuesta [6] con especial atención al desarrollo sistémico de las dimensiones económica y social, reforzando las soluciones desarrolladas con la dimensión ecológica, para su proyección en la articulación simbiótica de certificación de producto y de entorno construido bajo certificación LEED.

## 2.- DESARROLLO DE APORTACIONES AL MGE2

El MGE2 se desarrolla con el objetivo de diseñar productos cuyo ciclo de vida sea sostenible e inspirado en los referentes naturales de ecoefectividad, incardinado en las normas de la serie ISO-14000 (ACV y ecoetiquetado), UNE-14006 y bajo el paradigma C2C [5]. Sus primeras aproximaciones quedan reflejadas en la figura 1 (*revisión I*) [12,13], así como su evolución (*revisión II*), sustentada en el desarrollo y ampliación detallada de los ámbitos del diseño. Los mismos introducen nuevas técnicas y herramientas en los nuevos niveles 2,3,4 de actuación [14-16] derivados de los requerimientos de los productos y de sus asociaciones a los ecosistemas industriales y urbanos:

- **Estrategia sostenible (1):** ACV-3E, principios C2C y certificación LEED-C2C.
- **Toxicidad (2):** modelo de sustancias C2C y análisis de flujos de sustancias (STAN V2.0).
- **Eco-compatibilidad (3):** análisis de las cadenas tróficas y análisis de flujos de materiales (STAN V2.0).
- **Flujo de Energía (4):** análisis energético (SimaPro).

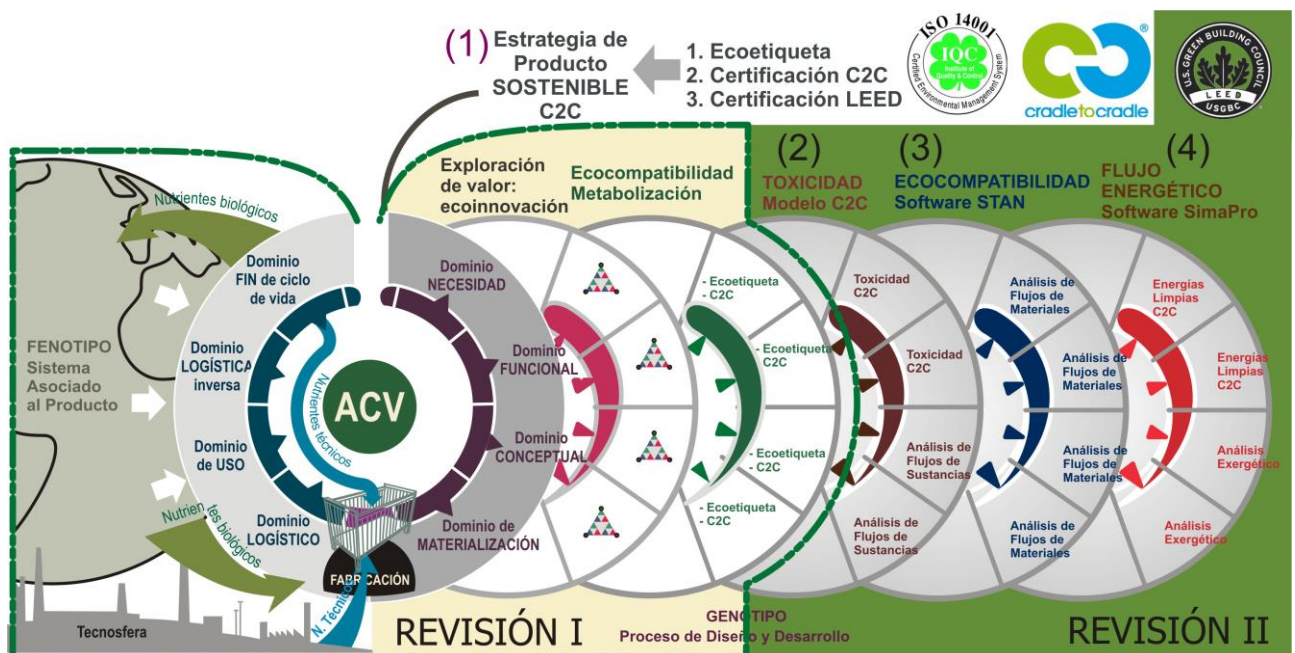


Fig.1. Modelo Genómico de Ecodiseño y Ecoinnovación

Las nuevas aportaciones amplían los niveles de exploración del triple valor ambiental, económico y social en cada una de las etapas del proceso de diseño y desarrollo del producto, ampliando el alcance del MGE2. El modelo ha sido evaluado a través de su aplicación en el diseño de varios productos diferentes, siendo mostrados en el presente trabajo los resultados obtenidos para el diseño de un *punto de información multimedia* [14] denominado PIM, cuyas características básicas e información relevante se muestran en la figura 2.

### 2.1.- ESTRATEGIA SOSTENIBLE

La definición de una estrategia de producto sostenible [12] es la primera etapa del MGE2 donde se delimita el alcance del producto con respecto a las necesidades del usuario, mercado y agentes implicados en el ciclo de vida (CV) para que pueda ser caracterizado como sostenible. Un análisis previo al establecimiento de esta estrategia centrará el ACV a realizar (desde el punto de vista ambiental, social y económico) y según los requerimientos definidos en los sistemas de gestión ambiental ISO14001, calidad ISO9001 y UNE14006 de Ecodiseño, se generará la triple dimensión de valor del

sistema con cuyos datos se establece la estrategia social, económica y ambiental del producto (ecoinnovación 3E) teniendo en cuenta todo su CV.

### 2.1.1.- Análisis de Ciclo de Vida 3E

El ACV es un método para evaluar el impacto potencial de un producto, proceso o actividad, asociado a su ciclo de vida. Se lleva a cabo a través de una serie de etapas interrelacionadas [18] que implican la recopilación de información en un inventario de las entradas y salidas del producto, una evaluación de los impactos generados y una interpretación de los resultados obtenidos para conocer las posibles soluciones de mejora del sistema completo [19].

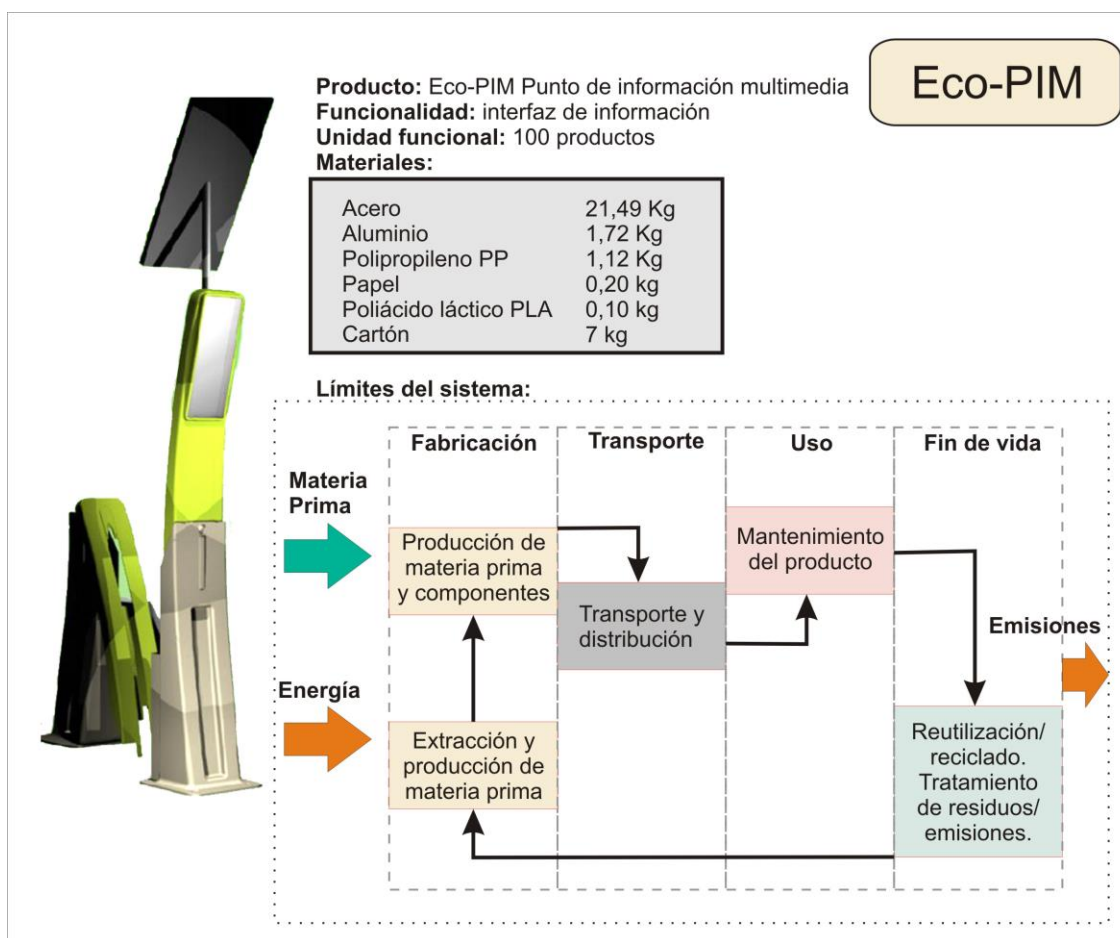


Fig.2. Síntesis de producto

Desde sus inicios el enfoque de aplicación ha sido establecido con diferentes variantes; entre otras pueden encontrarse el ACV simplificado [20], parcial (de la cuna a la tumba, de la cuna a la puerta, etc.) [21], “well-to-wheel” (“desde la producción hasta el uso” aplicado al sector de movilidad y energético [22]), ambiental A-ACV, social S-ACV o económico EIO-ACV [23]. Una de las nuevas aportaciones importantes al MGE2 es la formulación integrada de los tres aspectos de sostenibilidad dentro de un ACV completo y teniendo en cuenta los principios C2C y la estrategia 3E.

#### 2.1.1.1.- ACV Ambiental

El **ACV Ambiental** [24] es la metodología para evaluar la carga medioambiental de un producto a partir de la cuantificación de los impactos ambientales potenciales causados durante todas las etapas del CV y en concreto sobre la salud humana y de los ecosistemas. Los resultados obtenidos para el PIM se muestran en las figuras 2 y 3 (Software:



SimaPro7 de PRéConsultans). Los datos negativos hacen referencia a los daños evitados, gracias por ejemplo al diseño para la remanufactura o la estrategia autopoyética presentada en el MGE2 para el producto.

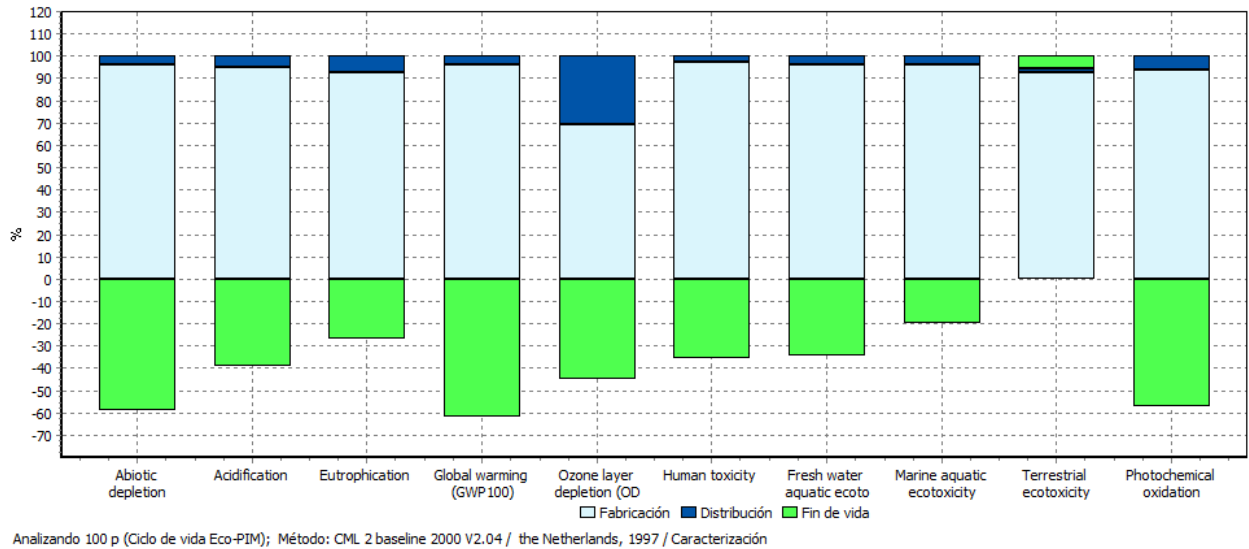


Fig.3. Análisis de impacto por categorías [14]

### 2.1.1.2.- ACV Social

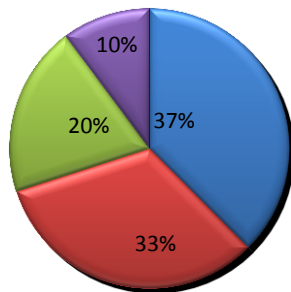
El **ACV Social** [25] se encarga de la evaluación de los impactos sociales con el objetivo de conocer el impacto social que genera un producto desde el punto de vista de la equidad considerando como receptores *trabajadores, comunidad local, sociedad, consumidores y cadena de valor*, teniendo en cuenta categorías de impacto como *derechos humanos, salud, seguridad, condiciones de trabajo, herencia cultural y resultados socio-económicos* [17]. Comparte el marco conceptual de la norma ISO14040 y los resultados aportan una visión de la interrelación *producto-entorno social*. Los resultados para el PIM [16] se presentan en la tabla 1.

Fases del CV	Valoración IS	Comparación IS (%)
Investigación, diseño, desarrollo	1,55	11
Extracción materias primas	3,68	27
Fabricación-ensamblaje	1,45	11
Logística	2,19	16
Uso	1,75	13
Logística inversa	1,44	10
Fin de vida	1,60	12

Tabla 1: Contribución de impacto social (IS) por etapa de CV

### 2.1.1.3.- ACV Económico

El ACV Económico (E-ACV) es una herramienta para evaluar el desempeño económico total de un activo a lo largo del tiempo. En él se define la distribución de costes, ingresos y flujos de caja a lo largo del CV del producto, incluyendo los costes ambientales necesarios para el restablecimiento del coste ambiental perdido. Para el ejemplo del PIM, en una primera etapa se consideró la información de inventario recogida en la figura 4 que cuantificó todos los costes y flujos de caja asociados en su CV.



- Investigación y desarrollo - CR: planificación inicial, análisis de mercado, de viabilidad y requerimientos, diseño de ingeniería, documentación de diseño, software, evaluación de modelos y gestión
- Producción y construcción - CP: ingeniería industrial y análisis de operaciones, manufactura (fabricación, montaje y control de calidad), instalaciones, procesos de apoyo logístico

Fig.4. Distribución del coste en el CV [14]

**Eco-Costes** [13,26,27] son aquellos costes ambientales relacionados con la unidad funcional que expresan los costes necesarios para corregir el daño ecológico y social que causa un producto. El objetivo es conseguir un valor representativo de los costes de reparación del impacto ambiental que será añadido al coste final para compensar los costes indirectos debidos a la interacción lesiva con el medio. Los eco-costes relativos al PIM de la tabla 2 han sido calculados para la unidad funcional; tendrán que ser tenidos en cuenta en el precio final del producto. Para el cálculo se tomaron como referencia los relativos a 2012 [26] estimados en base a los niveles de precios de los Países Bajos.

Categoría de impacto	UNIDADES		TOTAL		FABRICACIÓN		DISTRIBUCIÓN		FIN DE VIDA	
	Unidad	ECO-COSTE	Kg	ECO-COSTE	Fabricación	ECO-COSTE	Distribución	ECO-COSTE	Fin de vida	ECO-COSTE
Acidificación	kgSO <sub>2</sub> eq	8,25€	57,64999	475,61€	90,32391	745,17€	4,87833	40,25€	-37,5522	- 309,81€
Eutrofización	kgPO <sub>4</sub> eq	3,90€	7,370654	28,75€	9,310188	36,31€	0,740729	2,89€	-2,68026	- 10,45€
Calentamiento global	kgCO <sub>2</sub> eq	0,14€	6920,647	934,29€	17375,44	2.345,68€	662,4562	89,43€	-11117,3	- 1.500,84€
Toxicidad humana	kg1,4-DBeq	35,00€	7923,098	277.308€	12047,83	421.674€	312,1176	10.924,1€	-4436,85	- 155.289,75€
Toxicidad acuática	kg1,4-DBeq	35,00€	844,0295	29.541,3€	1237,684	43.318,9€	46,88522	1.640,98€	-440,539	- 15.418,87€
Toxicidad terrestre	kg1,4-DBeq	35,00€	107,9077	3.776,77€	99,80564	3.493,20€	1,938659	67,85€	6,16	215,72€
Ox. Fotoquímica	kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	9,70€	2,693933	26,13€	5,875208	56,99€	0,394954	3,83€	-3,57623	- 34,69€
				312.091€		471.670€		12.769€		- 172.349€

Tabla 2: Eco-costes por etapa y categorías de impacto para la unidad funcional [16]

## 2.2.- ECO-COMPATIBILIDAD

Una de las innovaciones que incluye el MGE2 es la introducción del paradigma C2C en la metodología; su concepción sistémica implica la gestión de rutas metabólicas y el cierre de los flujos de materiales desde la cuna hasta la cuna [13]; eliminando el concepto de residuo y maximizando el uso de recursos energéticos renovables para los procesos implicados, dando como resultado productos eco-compatibles capaces de crear valor o impacto positivo. Los dos ciclos metabólicos (biológico y técnico) engloban un conjunto de flujos de materiales y sustancias que deben ser cuantificados y evaluados para establecer aquellos criterios de diseño específicos para cada fase del CV, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones durante el proceso de diseño y desarrollo. Para ello se amplía la evaluación en el MGE2 hacia el *análisis de las cadenas tróficas* (flujo de nutrientes biológicos y técnicos), que aportará la información sobre flujos materiales y sustancias para su posterior evaluación con las herramientas AFM (análisis de flujos materiales) y AFS (análisis de flujos de sustancias) [27,28].

### 2.2.1.- Análisis de cadenas tróficas

El análisis de *cadenas tróficas industriales* (proceso de transferencia de materiales a través de distintas especies industriales que forman los ecosistemas) es el inicio para la recopilación de información referente al producto (materiales y sustancias), entradas necesarias para el AFM-AFS [27,28] que cuantificarán, ponderarán y distribuirán los

flujos metabólicos a lo largo de su CV. El objetivo es simular el principio de conservación de la materia de la naturaleza, donde el flujo de sustancia y energía en las redes tróficas es constante. Las fases quedan descritas en los siguientes apartados.

### 2.2.1.1.- Clasificación de nutrientes y definición de metabolismos

El análisis de materiales asignado a la solución de diseño consiste en una clasificación y cuantificación de los mismos para poder delimitar los metabolismos asociados al producto [6] y las estrategias de gestión: por ejemplo comprobar el nivel de reciclabilidad de los materiales no biodegradables especificando el porcentaje supra-reciclado (cuyo proceso de reutilización no supone pérdida de valor-calidad) e infra-reciclado (que implica la pérdida de valor en el reciclado). Todo ello lleva al establecimiento de los ciclos materiales sobre la biosfera y tecnosfera (figura 5).

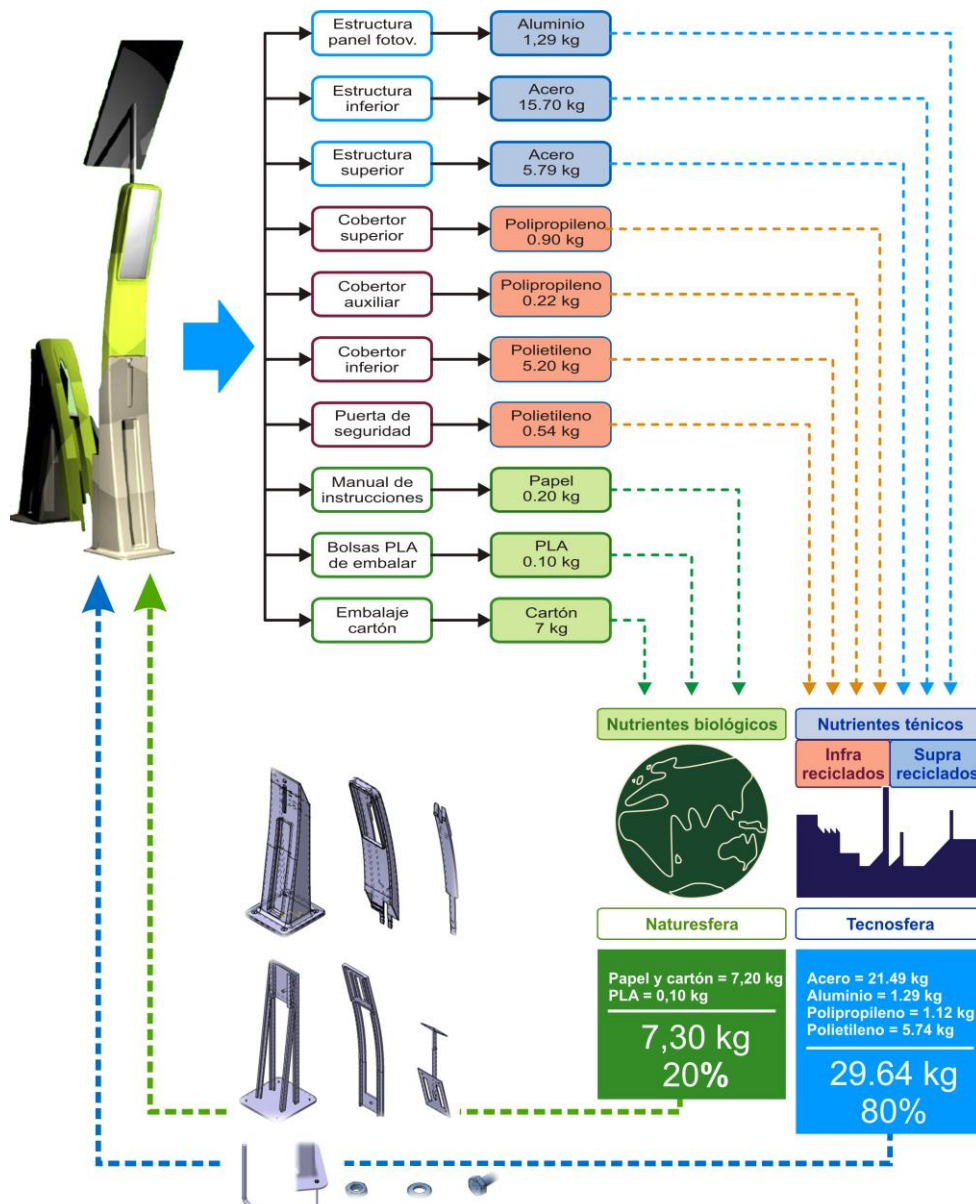


Fig.5. Flujos y ciclos metabólicos del producto [14]

### 2.2.1.2.- Análisis cualitativo de materiales y sustancias

Clasificados los materiales del producto según los flujos del sistema, se realiza un primer análisis cualitativo a partir de la matriz de tres dimensiones de la figura 6, que mostrará las dependencias entre producto, materiales y sustancias, de modo que permita conocer las relaciones directas e indirectas que intervienen en el CV. Las relaciones identificadas se utilizarán posteriormente para definir el carácter sostenible del producto, (toda la información de materiales y sustancias se toma de proveedores afines a partir de *cuestionarios de experto*). Su puesta en práctica se llevó a cabo solicitando a los proveedores listas de sustancia, que incluían en sus productos y que fueron posteriormente consideradas bajo la lista de certificación de sustancia C2C [30].

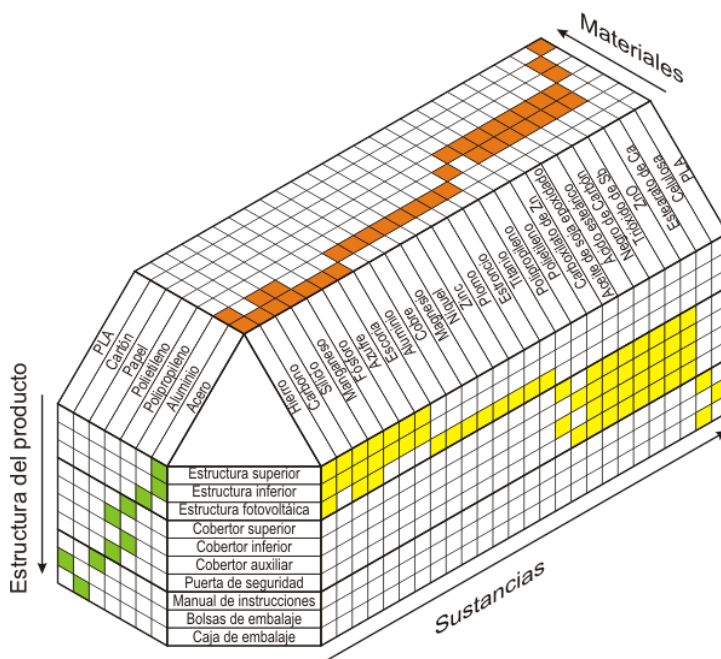


Fig.6. Matriz triple: materiales-sustancias-producto [14]

Para facilitar la evaluación se dividió el producto en tres grupos funcionales con componentes afines (estructura, cobertores y embalaje); mayor cantidad de materiales infra-reciclados se concentran en el grupo *cobertores*, siendo el grupo *estructura* el caracterizado por su supra-reciclabilidad. Estos dos grupos suponen la mayor carga ambiental, lo que implicó la definición de diferentes escenarios evaluados en el análisis de sensibilidad para guiar el proceso de toma de decisiones (no ocurre así con el grupo funcional *embalaje*, de materiales orgánicos que no suponen un impacto muy elevado al ser 100% biodegradables).

### 2.2.2.- Análisis de Flujo de Materiales

El análisis de flujo de materiales (AFM) [27] es un método de cuantificación de los flujos del sistema. Tanto el AFM como el AFS [27,28] son instrumentos importantes para evaluar los impactos generados en el CV de un producto de forma detallada. Sus beneficios contribuyen a aumentar la eficiencia a través de objetivos como monitorear la acumulación de contaminantes, el agotamiento de recursos y las futuras cargas ambientales y reducir la complejidad del sistema aportando una base de resultados que ayudan a la toma de decisiones, gestión de los recursos, medioambiente y residuos.

Para llevar a cabo el AFM en el MGE2 se utiliza el software STAN V2.0 [28] creado por la Universidad de TuDelft con el objetivo de poder calcular y visualizar los resultados referentes a concentraciones de sustancias dentro del sistema



producto de un modo intuitivo, cuantificando todas aquellas que están presentes en el CV. Este análisis es integrado dentro del MGE2, ampliando con ello el control metabólico asociado al producto; para su aplicación es necesario desglosar todos los procesos y las entradas materiales del sistema (salidas del análisis cualitativo anterior). En el caso del PIM [14] se modeló con un flujo de fabricación de 100 unidades de producto por año (unidad funcional). Llevando a cabo el cálculo de flujos internos con el software, se presentan los resultados en el diagrama de la figura 7. El resultado ofrece una lectura directa e intuitiva de flujos (entradas y salidas) simplificando la toma de decisiones respecto a la distribución de materiales, procesos asociados, fabricación de componentes, reciclado, etc.

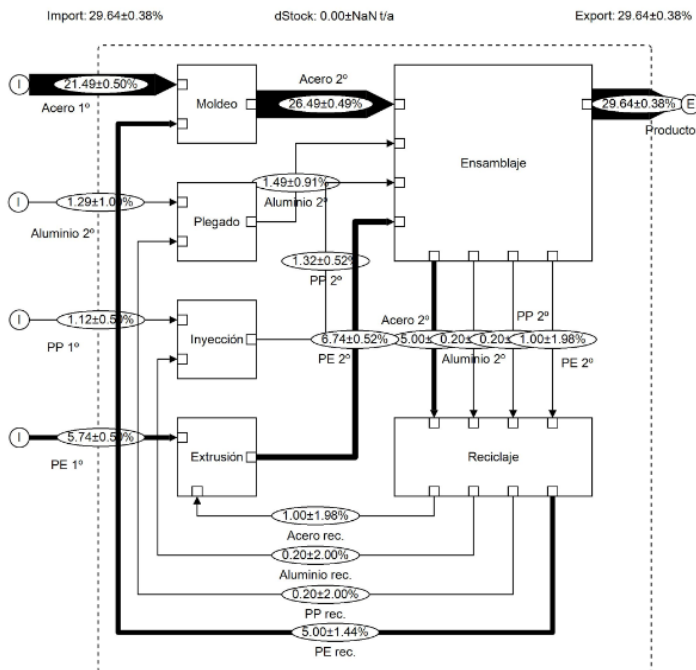


Fig.7. Diagrama Sankey del producto

### 2.3.- ECO-TOXICIDAD

El estudio de la eco-toxicidad y su evaluación es imprescindible a la hora de caracterizar un producto, proceso o actividad como sostenible. Al clasificar los materiales dentro de los grupos de nutrientes técnicos y biológicos y las sustancias según su toxicidad (tabla 4) como propone el paradigma C2C[5], se asegura la seguridad y la calidad de la salud de los seres vivos en el medio ambiente gracias a la eco-compatibilidad del producto. Este estudio lleva implícito el conocimiento previo de las sustancias constitutivas de los materiales a partir de los cuales se ha fabricado el producto con el objetivo de gestionar adecuadamente el control de tóxicos; una de las herramientas que pueden ser utilizadas es el Análisis de Flujos de Sustancias (SFA); se lleva a cabo a partir de un análisis de información acerca de las cantidades y tipos de sustancias presentes en cada material que luego serán evaluadas según la clasificación C2C (A,B,C,X,P). Se define la distribución de sustancias en los flujos de Manganeseo contenidos en el PIM [16] (tabla 3).

Inputs del sistema					
	Kg-material	%Mn	Kg-Mn	E%Mn	E±kgMn
Mn(Acero1º:TOX.C2C-B)	21,49	0,5	0,10745	0,5	0,00054
Mn(Al2º:TOX.C2C-B)	1,29	0,5	0,00645	1	0,00006
Mn(PP1º:TOX.C2C-C)	1,12	2	0,02240	0,5	0,00011
Mn(PE1º:TOX.C2C-C)	5,74	2	0,11480	0,5	0,00057
Outputs del reciclado					
	Kg-material	%Mn	Kg-Mn	E%Mn	E±kgMn

Mn(Acero-reciclado: TOX.C2C-B)	5	0,5	0,02500	2	0,00050
Mn(Al-reciclado: TOX.C2C-B)	0,2	0,5	0,00100	2	0,00002
Mn(PP-reciclado: TOX.C2C-C)	0,2	2	0,00400	2	0,00008
Mn(PE-reciclado: TOX.C2C-C)	1	2	0,02000	2	0,00040

Tabla 3: Manganeso de los flujos del sistema

CLASE C2C	CARACTERÍSTICAS: MATERIAL	CARACTERÍSTICAS: CICLO
A	Ciclo “cuna-cuna”	Biológico: biodegradable Tecnológico: reciclable
B	Ciclo “cuna-tumba”	
C	Propiedades moderadamente problemáticas que afectarán a la calidad de su ciclo cuna-cuna; aunque puede ser aceptado su uso.	Biológico: lentamente biodegradable Tecnológico: parcialmente reciclable
X	Propiedades problemáticas que afectarán al ciclo de vida. El producto debe ser adaptado y el material sustituido.	Biológico: no degradable Tecnológico: no reciclable
GRAY	No ha podido ser evaluado completamente en la definición de nutrientes por falta de información sobre su toxicidad.	
P	Uso prohibido; contiene sustancias que no permiten la certificación C2C en ninguna de sus categorías.	

Tabla 4. Clasificación C2C de sustancias según toxicidad

## 2.5.- ANÁLISIS ENERGÉTICO

El análisis energético tiene como objetivo llevar a cabo un balance de energía completo (incluyendo análisis exergético) de todas las etapas del CV del producto; es una de las derivaciones del ACV ambiental que debe tomarse en consideración para comprobar que el sistema se aproxima a los principios C2C. El flujo energético en todo el CV del producto en relación a las exigencias de certificación C2C se calcula a partir de la *Demanda Acumulada de Energía (CED)* que cuantificará la energía consumida directa e indirectamente en todo el CV dentro del mix energético (figura 8).

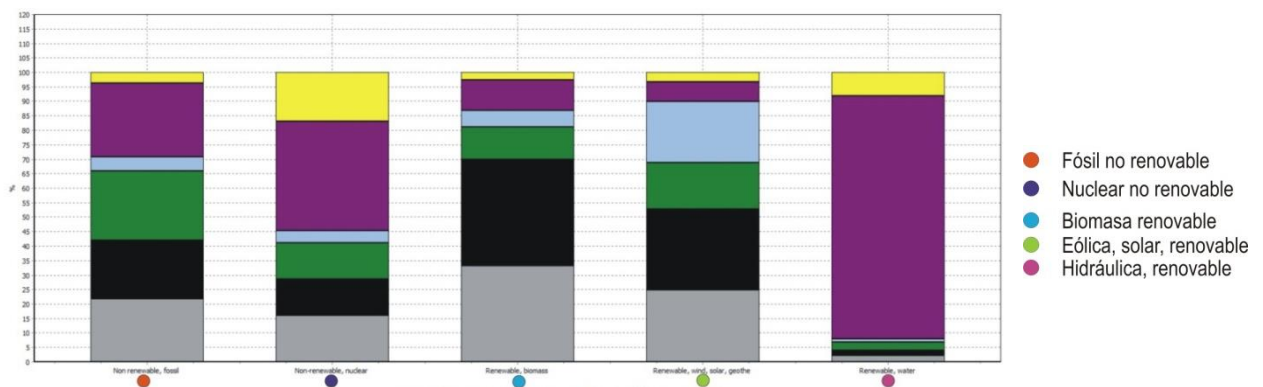


Fig.8. Análisis energético del CV del producto

## 2.6.- CERTIFICACIÓN DE SOSTENIBILIDAD

El MGE2 incorpora una metodología integrable en la norma ISO14006 de ecodiseño que hace posible la inserción del producto, proceso o actividad dentro de los programas de etiquetado ecológico de las normas ISO que otorgan a los productos las ecoetiquetas de tipo I (UNE-EN-ISO14024:2001), tipo II (UNE-EN-ISO14021:2002) y tipo III (UNE-

EN-ISO14025:2007) incluyendo entre ellos el sistema de certificaciones C2C (básico, plata, oro y platino) asociado a la ecoefectividad y 3E.

Comprobando la limitación de estas certificaciones con respecto a los aspectos relacionados con el sistema del producto (diseño fenotípico [12]), se amplía la metodología inicial para que el producto pueda incorporarse a contextos o escenarios sostenibles correspondientes a entornos edificables o edificados que vayan a ser evaluados y certificados, todo ello bajo los principios de simbiosis derivada de la ecología industrial y urbana. Esta aportación supone para el MGE2 la definición de hipótesis de uso del producto (escenarios) con el objetivo de caracterizar su entorno de uso (lugar, interacción producto-contexto, servicio y otros aspectos relativos a las infraestructuras implícitas en las etapas (fabricación, logística o fin de vida) que sí se evalúan en el ACV en su contribución de impacto al medio, pero no entran dentro de la certificación.



Fig.9. Compatibilidad de certificaciones

En la estrategia del PIM se realizan hipótesis de uso como son los edificios certificados ambientalmente por la Certificación LEED® (Líder en Eficiencia Energética y Diseño sostenibles) [29], un sistema de clasificación de Edificios Sostenibles del U.S. Green Building Council que adjudica *puntos* dentro una serie de categorías medioambientales definidas, para satisfacer criterios específicos de construcción sostenible; esto supone para la etapa de diseño, dotar al producto de todos aquellos requerimientos necesarios para que su uso afecte positivamente a la certificación del entorno, formando la simbiosis (figura 9) entre *certificaciones de producto* y *entorno de uso*. Los productos contribuyen a la acumulación de puntos en el sistema de certificación LEED dentro de la categoría *Proceso de Innovación y Diseño*, donde un producto puede aportar hasta 6 puntos más a la puntuación final del entorno construido.

La certificación C2C es compatible con LEED (evalúan aspectos similares bajo criterios de sostenibilidad). De esta manera los productos se refuerzan permitiendo la creación de valor promulgada por el MGE2 en las diferentes categorías ecológicas, económicas y sociales referentes además de al producto, a su ubicación (también sostenible), materiales y recursos, eficiencia en el uso de agua, energía y calidad atmosférica, calidad ambiental interior, innovación y diseño.

### 3.- RESULTADOS

La ampliación del MGE2 ha permitido extender el ámbito de evaluación y reforzar su aplicación haciendo que los productos, procesos o actividades cumplan un conjunto más amplio de requerimientos sostenibles en los tres ámbitos de la sostenibilidad (tabla 5).

Aportaciones MGE2	Social	Ambiental	Económico
ACV-3E	+	+	+
Eco-Costos	+	+	+
Análisis metabólico	+	+	
Matriz-3D	+	+	
AFM	+	+	
AFS	+	+	
Análisis energético	+	+	+
Certificación-C2C	+	+	+
Certificación-LEED	+	+	+

Tabla 5. Ámbitos de evaluación del MGE2

### 3.1.- RESULTADOS SOBRE EL FENOTIPO

Las aportaciones más significativas se han llevado a cabo sobre la etapa fenotípica del producto (es decir su sistema asociado e interacciones con el ecosistema). En la tabla 6 se relaciona cada una de las estrategias propuestas en el genotipo (características internas del producto) con su manifestaciones en el fenotipo (su expresión en el sistema asociado).

FENOTIPO DEL PRODUCTO	ESTRATEGIAS DE PRODUCTO	ACV-3E	Eco-Costos	Análisis metabólico	Matriz Materiales-sustancias	AFM	AFS	Análisis Energético	Certificación C2C	Certificación LEED
Logístico	Optimización: embalaje			+	+					
	Optimización: almacenaje-transporte			+	+				+	
Uso	Reducción: impacto de uso	+	+					+	+	+
	Menor consumo de energía. Uso fuentes limpias	+	+			+	+	+	+	+
	Alargar vida útil			+	+	+	+		+	+
	Potenciar relación usuario-producto	+	+						+	
	Mínimización: residuos energéticos	+	+	+	+	+	+		+	+
Logística Inversa	Integración: producto en entornos sostenibles			+	+	+	+		+	+
	Optimización: embalaje			+	+					
Fin de Vida	Optimización: almacenaje-transporte			+	+					
	Reutilización	+	+	+	+	+	+		+	+
	Re-fabricación	+	+	+	+	+	+		+	+
	Reciclado: materiales	+	+	+	+	+	+		+	+
	Desensamblabilidad	+	+	+	+	+	+		+	
	Gestión: procesos fin de vida			+	+	+	+	+		

Tabla 6. Aspectos abarcados por el MGE2 dentro del fenotipo del producto

## 4.- CONCLUSIONES

La sostenibilidad es un concepto dinámico y multidimensional que engloba diferentes objetivos cuyo interés de alcance está creciendo en todos los sectores y ámbitos industriales. El éxito en los planteamientos radica en la eco-innovación que está permitiendo el cambio hacia un sistema global integral sostenible de las actividades industriales en materia ecológica, económica y social y que incluyen su desarrollo específico dentro de la perspectiva de la eco-efectividad en todo el CV de productos, servicios, sistemas, procesos o proyectos. Para integrar estos requerimientos se desarrollan nuevos paradigmas y marcos de trabajo donde se incluyen las técnicas y herramientas necesarias que hacen posible el progreso hacia sistemas respetuosos con el planeta y la salud humana. El modelo Genómico de Ecoinnovación y Ecodiseño MGE2 es un marco de diseño y desarrollo de productos que permite integrar de forma sinérgica las tres dimensiones de la sostenibilidad (3E) económica, ecológica y equidad y que habiendo sido articulado sobre un conjunto



de principios, técnicas y herramientas, promueve una gestión clara y ordenada de la planificación del diseño sostenible. Es una metodología para la sostenibilidad que aporta a los productos y sistemas en consonancia con su sistema asociado, permitiendo incluir en los mismos el desarrollo y extrapolación de la visión de la equidad, introducir el cambio hacia la economía de la abundancia y reforzar los productos a través de la simbiosis de certificaciones a partir de la creación de valor compartido promulgada por el MGE2 en las categorías ecológicas, económicas y sociales referentes a los diferentes niveles de producto.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hoeschele W, *State The Economics of Abundance. A Political Economy of Freedom, Equity, and Sustainability*. Truman State University-Missouri, USA. 2010. ISBN 978-0-566-08940-4
- [2] Max-Neef M. Desarrollo a Escala Humana. [Material gráfico proyectable]. (1986). Recuperado [http://www.max-neef.cl/download/Max-Neef\\_Desarrollo\\_a\\_escala\\_humana.pdf](http://www.max-neef.cl/download/Max-Neef_Desarrollo_a_escala_humana.pdf), acceso: junio/2013.
- [3] Brundtland Commission. "Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future". Diciembre 1987. ONU: Department of Economic and Social Affairs.
- [4] McDonough W, Braungart M. "Design for the triple top line: New tools for sustainable commerce". Corporate Environmental Strategy. 2002. Vol 9(3)p.251-258 (doi [http://dx.doi.org/10.1016/S1066-7938\(02\)00069-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1066-7938(02)00069-6) )
- [5] McDonough W, Braungart M. *De la cuna a la cuna: rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Pérez-Van-kappel G (traductor). 1ª edición. Madrid: McGraw- Hill/Interamericana España S.A.U, 2002. 186p. ISBN:84-481-4295-0
- [6] Aguayo-González F, Peralta-Álvarez ME, Lama-Ruiz JR, et al. *Ecodiseño: Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna*. 1ª edición. Madrid: Grupo RC-Libros, 2011. ISBN978-84-938312-6-4.
- [7] McDonough W, Braungart M, Anastas P, et al. "Applying the Principles Engineering of Green to Cradle to Cradle Design". Environmental Science & Technology. Diciembre 2003. Vol.37(23)p.434-441. (doi <http://dx.doi.org/10.1021/es0326322> ).
- [8] Biomimicry Guild. Biomimicry: A Tool for Innovation. Biomimicry Institute: inspiring, educating and connecting biomimics throughout the world. (2009). Recuperado de <http://www.biomimicryinstitute.org>, acceso mayo-2013
- [9] Sousa I, Eisenhard JL, Wallace D. "Approximate life-cycle assessment of product concepts using learning systems". Journal of Industrial Ecology. Octubre 2008. Vol.4(4)p.61-81. (doi <http://dx.doi.org/10.1162/10881980052541954> ).
- [10] Heijungs R, Huppes G, Guinée JB. "LCA and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability LCA". Polymer Degradation and Stability. 2010. Vol.(95):3p.422-428. (doi <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.11.010> )
- [11] Graedel T, Allenby B. Design for Environment. 1ª edición. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 192p. ISBN:1-56670-214-3
- [12] Peralta-Álvarez M.E. "Ecodiseño de una silla de oficina: Proyecto de investigación para el diseño y desarrollo industrial sostenible". Sevilla Técnica Industrial. 2012. Vol.38p.20-23.
- [13] Peralta-Álvarez ME, Aguayo-Gonzalez F, Lama-Ruiz JR. "Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna: una arquitectura de referencia abierta para el diseño C2C". DYNA. Abril 2011. Vol.86-2 p.199-21. (doi <http://dx.doi.org/10.6036/3873> )
- [14] García A. "Ecodiseño y Ecoinnovación de un punto de información multimedia". Dirección Aguayo-González F. [Proyecto fin de Carrera]. EPS, Sevilla, 2011.
- [15] García A, Peralta ME, Córdoba A. "El paradigma Cradle to Cradle en el sector químico y medioambiental". Sevilla Técnica Industrial. 2011. Vol.36 p.38-47.
- [16] García A, Aguayo F, Lama JR. Aportaciones al Modelo Genómico de Ecodiseño desde la perspectiva C2C. Dirección: Aguayo-González F. [Proyecto fin de master]. Escuela Politécnica Superior, Sevilla, 2012.
- [17] Ciroth, A, Franze, J. Consideration of Social and Environmental Impacts Along the Entire Life Cycle. 2011. ISBN 978-1-4466-0087-0
- [18] SETAC. *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice*. Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1993.
- [19] Ciambone F. *Environmental Life Cycle Analysis*. 1ª Edición. Nueva York: Lewis Publishers, 1997. 145p. ISBN: 1-56670-214-3.
- [20] AENOR. *Análisis de ciclo de vida simplificado*. UNE150041. Madrid: AENOR, 1998.
- [21] Ibbotson S, Kara S. "LCA case study. Part 1: cradle-to-grave environmental footprint analysis of composites and stainless steel I-beams". The International Journal of LCA. Enero 2013. Vol.18(1) p. 208-217. (doi <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-012-0452-5> )
- [22] Brinkman N, Wang M, et al. *Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel/Vehicle-Systems: A N.A. Study of Energy Use*. Illinois, Argonne National Laboratory, 2005.
- [23] Hendrickson C, Horvath A, Joshi S, et al. "Peer reviewed: economic input-output models for environmental LCA". E.Science&Technology. 1998, Vol.32(7)p.184-191. (doi <http://dx.doi.org/10.1021/es983471i> )
- [24] Zhang Y, Singh S, Bakshi BR. "Accounting for Ecosystem Services in LCA. PI: A Critical Review". E.Science&Technology. 2010. Vol. 44(7)p.2232-2242. (doi <http://dx.doi.org/10.1021/es9021156> )
- [25] Zhang Y, Singh S, Bakshi BR. "Accounting for Ecosystem Services in Life Cycle Assessment, PII: Toward an Ecologically-Based LCA". E.Science&Technology. 2010. Vol.44(7)p.2624-2631.(doi <http://dx.doi.org/10.1021/es900548a> )
- [26] Fabrycky W, Blanchard BS. *The Model of the Eco-costs: An LCA based decision support tool for the de-linking of economy and ecology*. 1991. Universidad TuDelft.
- [27] Brunner PH, Rechberger H. *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. New York: Lewis-Publishers, 2004. ISBN1-56670-604-1.

- [28] Cencic O, Rechberger H. *Material Flow Analysis With Software STAN*. Environmental Engineering Management. 2008. Vol.18(1)p.3-7.
- [29] U.S. Green Building Council. *LEED Volume Program: Overview and Process*. Washington, 2012.
- [30] McDonough W, Braungart M. *C2C Products innovation institute*. Certification, <http://www.c2ccertified.org/> [recurso-web] 2013