

04-025

HOLONIC MODEL FOR SUSTAINABLE PROJECTS IN BUILT INDUSTRY ENVIRONMENTS

Ávila Gutiérrez, María Jesús ¹; Marcos Bárcena, Mariano ²; Aguayo González, Francisco ¹; García de Vinuesa, Ana de Las Heras ¹; Lama Ruiz, Juan Ramón ¹

¹ Universidad de Sevilla, ² Universidad de Cádiz

The current trend of projects of built environments in industrial areas (industrial plants, industrial estates and parks) is towards the integration of sustainability in three areas: social, economic and environmental under a concept from cradle to cradle (C2C). So far, it does not have a model to develop the sustainable engineering life cycle and its integrated assessment. In this paper is proposed a protomodel of holonic inspiration from the point of view of the levels macro, meso and micro and based on sustainability under the 3E and C2C symbiosis, to support engineering lifecycle of the built industry environment so that are integrated into natural ecosystems. Subsequently the most efficient tools to ensure sustainability in these environments are discussed.

Keywords: *Holonic Built Environment; Sustainable Cycle life Assessment; Cradle to Cradle (C2C); Analysis and Assessment Socio-economic-Environmental Built Industrial Environment.*

MODELO HOLÓNICO PARA PROYECTOS SOSTENIBLES EN ENTORNOS INDUSTRIALES CONSTRUIDOS

La tendencia actual de los proyectos sobre entornos construidos en espacios industriales (plantas industriales, polígonos y parques industriales) es hacia la integración de la sostenibilidad en sus tres vertientes: social, económica y ambiental bajo una concepción desde la cuna a la cuna (C2C). Hasta el momento, no se dispone de un modelo para desarrollar la sostenibilidad de la Ingeniería del ciclo de vida y su evaluación integrada. En el presente trabajo se propone un protomodelo de inspiración holónica desde el punto de vista de los niveles macro, meso y micro y basado en la sostenibilidad bajo la 3E y la simbiosis C2C, para dar soporte en la ingeniería del ciclo de vida de los entornos construidos industriales de manera que estén integrados en los ecosistemas naturales. Posteriormente se analizarán las herramientas más eficientes que garantizan la sostenibilidad en dichos entornos.

Palabras clave: *Entorno construido holónico; Análisis de Ciclo de Vida Sostenible; Cradle to Cradle (C2C); Análisis y evaluación económico-Socio-Ambiental del Entorno Industrial Construido.*

Correspondencia: María Jesús Ávila Gutiérrez mavila@us.es

1. Introducción

En la industria de la construcción se necesita algo más que reducir el gasto energético y el consumo de materiales para generar más beneficios y rentabilidad económica. Se necesita, en primer lugar, pensar en la vida de un producto desde la extracción de materiales, la energía empleada para su extracción y elaboración, y, una vez acabada su vida útil, pensar dónde terminarán los restos o residuos del mismo, analizando un producto desde su comienzo hasta su final, desde su nacimiento hasta su muerte útil, es decir, lo que se denomina un análisis desde la cuna hasta la tumba (from cradle to grave). Este enfoque de innovación corrige los problemas no detectados por la ecoeficiencia y minimiza los riesgos, pero todavía no contempla una solución satisfactoria porque sigue pensando que al final debe quedar un residuo, una tumba del producto: vertederos, basura, residuos y vertidos no retornables. Está claro que estos planteamientos no garantizan la sostenibilidad de las futuras generaciones del planeta, sólo reducen el ritmo de contaminación. Se necesita impulsar un paradigma donde el límite no sea el vertido o los residuos, sino la sostenibilidad de vida sobre el planeta, pasando de la estrategia reactiva "from cradle to grave" a la estrategia proactiva "from cradle to cradle", de la cuna a la cuna de McDonough y Braungart (2005) donde el final de un producto sirva de nutriente biológico al ecosistema, cuna de otros seres y organismos.

La tendencia actual de los proyectos sobre entornos construidos en espacios industriales (plantas industriales, polígonos y parques industriales) es hacia la integración de la sostenibilidad en sus tres vertientes: social, económica y ambiental bajo una concepción desde la cuna a la cuna (C2C).

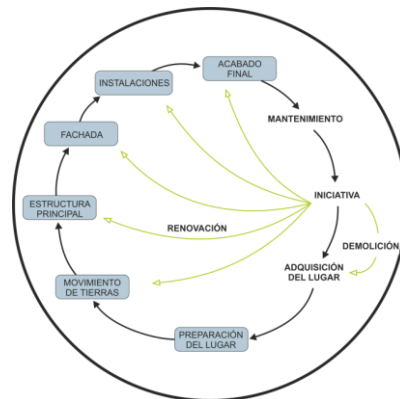
Normalmente, la sostenibilidad se entiende como el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Sin embargo, pocas veces se analiza que este desarrollo sostenible requiere la conjunción de tres vértices: Economía, Ecología y Equidad. Los tres vértices deben coincidir para que se dé una solución de sostenibilidad: debe ser ecológicamente prudente, económicamente viable y socialmente deseable. Sólo así se consigue una triple cuenta de resultados o una triple sostenibilidad (sostenibilidad 3E).

Hasta el momento, no se dispone de un modelo para desarrollar la sostenibilidad de la Ingeniería del ciclo de vida y su evaluación integrada. En el presente trabajo se propone un protomodelo de inspiración holónica desde el punto de vista de los niveles macro, meso y micro y basado en la sostenibilidad bajo la 3E y la simbiosis C2C, para dar soporte en la ingeniería del ciclo de vida de los entornos construidos industriales de manera que estén integrados en los ecosistemas naturales.

2. El proyecto de Construcción.

Un proyecto de construcción pasa a través de varias fases a lo largo de su ciclo de vida. Hay varias investigaciones sobre las distintas fases del proceso de desarrollo de los productos y la sostenibilidad en estas diferentes fases (Lameris,2007) (Dansen,2009). Entre las distintas fases podemos encontrar las mostradas en la figura 1 y que a continuación se detallan.

Figura 1: Fases del proyecto de construcción



2.1. Iniciación

La primera fase de un proyecto es la fase de iniciación. Es durante esta fase, el proyecto establece el objetivo y se plantea el inicio para desarrollar un producto. En esta fase, se asigna un gerente al proyecto, y este trabaja con los principales actores del proyecto (estos son las personas con un interés personal en el proyecto), para determinar plenamente lo que es demandado y medir el éxito del proyecto una vez que se haya completado todo el trabajo. El alcance del proyecto incluirá las metas del proyecto, el presupuesto, los plazos y otras variables que pueden ser utilizadas para la medición de éxito una vez que llegan a la fase final (Ausgabe, 2004). Una formulación clara es la base hacia un proyecto sostenible (Manfron y Mallgrave, 2009).

2.2. Definición

En esta fase se deben abordar todos los aspectos a considerar en el proyecto así como el aspecto de sostenibilidad ya que debe ser uno de los elementos presentes en la formulación del problema.

2.3. Diseño

El proceso de diseño es la búsqueda por la solución de diseño óptimo con una fase de seguimiento iterativa. Un primer problema que se presenta, reside en el hecho de que la información disponible suele ser inversamente proporcional a la información durante el proceso de diseño. La fase de diseño en sí se puede dividir en tantas fases como sean necesarias con el fin de resolver todos los problemas de diseño y de integrar los conceptos en un plan funcional. Generalmente se recomienda que se utilicen al menos dos etapas tales como el diseño preliminar y diseño final.

Los resultados finales de la etapa de diseño son documentos, planos, costos de construcción, costos operativos proyectados, y cronogramas de la construcción. Desde el principio del proyecto, el diseño se considera como un proceso sencillo con un seguimiento de fases secuencial (Mehta, Scarborough, y Diane, 2009).

Redclift y Voodgate (2010) describe que es importante incorporar a los agentes adecuados y que tengan experiencia en el ámbito de la sostenibilidad. La fase de diseño está estrechamente interconectada con la fase de construcción de un proyecto (Wamelink, 2009).

El diseño proporciona la forma en que se ensamblarán los materiales en cada fase de construcción. Por lo tanto, la sostenibilidad, con respecto a la fase de construcción, está influenciada por la fase de diseño (Winch, 2010).

2.4. Preparación

Esta fase incluye las especificaciones y estimaciones de costos realizados tales como: la firma del presupuesto, el presupuesto de compra y la preparación para el trabajo, la

preparación del lugar, la ingeniería y los documentos de diseño necesarios que el contratista necesita para empezar a construir (Wamelink, 2009).

2.5. Construcción

Higgin y Jessop (1965) hablan de que existe una conexión entre el proceso y el producto fruto de la construcción y edificación. "Mirando el proceso de construcción, podemos distinguir tres funciones principales. Dos son obvias: diseño y construcción; la tercera es la coordinación" (Carpenter, 2001). Aunque la fase anterior se haya seguido con éxito, esto no garantiza el éxito en la fase de construcción. Las premisas asociadas a la sostenibilidad pueden desaparecer durante la fase de construcción, debido a una aplicación incorrecta por parte del contratista (Dansen, 2009).

2.6. Demolición

La demolición es de importancia creciente debido al aumento de reconstrucciones de áreas a diferencia del desarrollo tradicional. Los procesos de demolición son vistos como procesos inversos a los de construcción. La industria de la demolición está motivada por un presupuesto para las actividades y no a la reutilización a menos que el presupuesto del que se disponga vaya destinado a ello. (Winkler, 2010).

3. Modelo de construcción actual

El modelo de construcción actual mostrado en la figura 2 cuenta con las siguientes zonas:

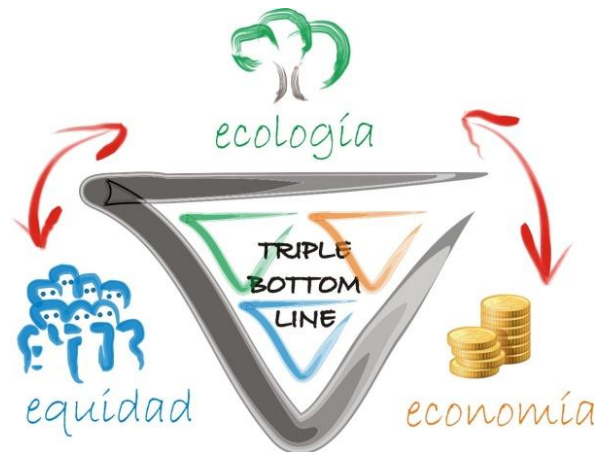
1. La primera parte del modelo es la zona central. Esta representa las principales actividades del proceso de construcción con las diferentes fases del mismo.
2. El segundo aspecto son los agentes intervinientes en el proyecto. Estos a menudo están relacionados entre sí y la relación está condicionada por el tipo de contratación.
3. El tercer aspecto son los recursos que se necesitan para llevar a cabo el proyecto. Durante la construcción la mano de obra se encarga de contar con los recursos necesarios para materializar el diseño. Los materiales provienen de la extracción de la materia prima que es transformada a materia en uso según diferentes fases de fabricación y procesamiento.
4. La cuarta sección es la entrada del proceso que ayuda al trabajo de montaje y también implica el aspecto de transporte. El uso de energía y agua durante los procesos asociados a los materiales y la construcción también se incluye para todo el proceso, incluyendo la cadena de suministro.
5. El último aspecto es el producto resultante que en este caso es la construcción (edificio) y todos los desperdicios generados como consecuencia de materiales, energía, emisiones y CO₂, que se resumen como salida del proceso.

El modelo de construcción actual, como puede verse en la figura 2, consiste en la extracción de recursos del suelo para elaborar productos que luego se desechan, por lo que dicho modelo no es sostenible. No se puede aplicar indefinidamente un sistema lineal en un planeta con recursos limitados y cerrado en materia.

Necesitamos por tanto estudiar modelos que conlleven hacia el requerimiento de sostenibilidad para conseguir realizar proyectos de entornos construidos sostenibles.

medioambiente (sostenibilidad ambiental). Si los tres conceptos se articulan simultáneamente agrupados en un triángulo fractal como aparecen en la figura 3, interactuarán dinámicamente en el proceso de búsqueda de soluciones, obteniendo para ellas una triple cuenta de resultados ecoinnovadores. Juntos, definen la estrategia 3E (economía, ecología y equidad) convirtiéndose en las tres dimensiones fundamentales de la sostenibilidad.

Figura 3: Estructura fractal de la Sostenibilidad en C2C



4.2. Sostenibilidad bajo C2C

El paradigma C2C de la cuna a la cuna, empieza a configurarse como la plataforma para concebir, organizar y desarrollar la plataforma para la nueva revolución industrial bajo criterios de sostenibilidad, en la que la naturaleza es considerada maestra, modelo y mentora.

“Cradle to Cradle (C2C)” o “de la cuna a la cuna” se presenta como un enfoque de ingeniería sostenible que pretende concebir productos que determinen un impacto positivo sobre la naturaleza. El objetivo es mantener nuestro ritmo de consumo derrochador sin perjudicar el medio ambiente, creando técnicas de producción más eficaces y, lo que es más importante, sin producir residuos. Ello determina el desacoplar el crecimiento económico y nivel de vida del impacto ambiental, teniendo como objetivos crear valor ambiental.

Figura 4: Procesos cíclicos de la industria actual y su evolución a C2C



La concepción sistémica de C2C, busca el cierre de los flujos de materiales, (desde la cuna a la cuna), eliminando el concepto de residuo y tomando como energía, para las reacciones metabólicas (procesos industriales) en las cadenas tróficas de los procesos industriales, la procedente prioritariamente de los recursos renovables (véase figura 4).

4.3. Holónica como marco paradigmático

La sostenibilidad de proyectos en entornos construidos integran diversos aspectos de la complejidad como son: complejidad tecnológica, incorporación de TIC y tecnologías inteligentes, adopción de nuevas tecnologías -de borde- en la escala macro, meso y micro y los requerimientos de sostenibilidad.

Para permitir la gestión de la complejidad derivada de la incorporación de los requerimientos de sostenibilidad a los proyectos (procesos y productos) de entornos construidos, así como el estudio de las vistas de la complejidad, dualidad como todo y parte, carácter fractal y ubicuo, requerimientos de colaboración y cooperación entre agentes, requerimientos de ecocompatibilidad y metabolización en base a la ciclicidad, eficiencia, toxicidad y autorregulación entre otros, necesitamos un paradigma que posea las características adecuadas a los requerimientos que hemos expuesto anteriormente.

Este paradigma es el paradigma holónico (Koestler, 1976) (Koestler, 1981a) (Koestler, 1981b) ya que este permite concebir entidades interrelacionadas entre sí que manejen la complejidad de los proyectos, trabajen de manera colaborativa, cooperativa y se regulen.

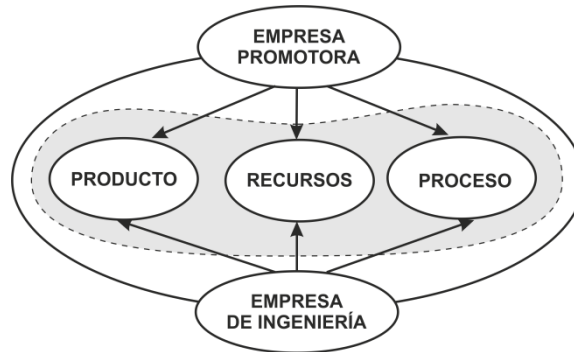
Las propiedades más significativas de los holones (entidades que interrelacionan entre sí formando holarquías) son las siguientes (Aguayo, 2003) (Mella, 2009):

1. **Un holón es TODO/PARTE:** Un holón puede ser parte de otro holón o integrar distintos holones u holarquía en interacción armónica, constituyendo dominios de colaboración.
2. **Un holón es una entidad AUTONOMA:** Posee capacidad de crear y controlar la ejecución de sus propios planes o estrategias de forma autorregulada.
3. **Un holón es una entidad COLABORATIVA:** Se integra en una o más holarquía de nivel superior denominadas dominios de colaboración, formando las holarquía de nivel $n+1$, es una propiedad del holón en cuanto a su expresión como parte.
4. **Un holón es una entidad COOPERATIVA:** Integra otros holones y procesos en el que un conjunto de entidades que realizan conjuntamente planes aceptables para desarrollar una función. De la cooperación se derivan propiedades emergentes. Es una propiedad del holón en cuanto a todo.
5. **Un holón es AUTOASERTIVO:** Está dotado de capacidad de imponer ante otros holones formas de interacción, ideas, criterios o pensamientos para desarrollar unos planes.
6. **El holón se AUTOREGULA:** Está dotado de capacidad de cambiar su modo de cooperar para desarrollar una función confiriéndole resiliencia. Puede ser interna o externa del holón.
7. **El ciclo de vida del holón.** El holón contempla las etapas del ciclo de vida, las vistas de la complejidad (estructura y flujos) y los grados de especificidad del mismo como entidad particular, parcial o general según el grado de concreción o especialización del mismo.

5. Modelo holónico para la caracterización de proyectos de entornos construidos

Una organización holónica empresarial es un conjunto de empresas que actúan de forma integrada para acometer una oportunidad de negocio que solicita un cliente. Cada empresa participante, denominada holón, es responsable de la ejecución de uno o más procesos de la cadena de valor requerida por la organización.

Figura 5: Holarquía de entidades para proyectos de entornos construidos



La complejidad empresarial radica tanto en la diversidad de proyectos, como en la realización de actividades que pueden ser paralelas a los proyectos sin olvidar la propia complejidad del proyecto en sí. Para establecer una holarquía tenemos que tener en cuenta los agentes intervinientes y las relaciones existentes entre ellos. Si planteamos el objetivo de la realización de un proyecto para entornos industriales construidos, podemos distinguir entre otras, dos tipos de empresas: la empresa ingeniería y la empresa promotora. Para ello necesitamos conocer la relación entre el proyecto y la organización en la que se va a desarrollar el mismo teniendo en cuenta factores como: el tamaño del proyecto, el impacto del proyecto en el medio ambiente, el tipo de cliente, los recursos disponibles, las circunstancias y otros factores relevantes como puede verse en la figura 5.

El modelo propuesto está compuesto de distintas vistas holárquicas que a su vez están formadas por holones u otras organizaciones holónicas de menor tamaño. Cada holón es una unidad organizacional autónoma que ejecuta aquellos procesos para los cuales es más competente.

Los holones cooperan entre sí a fin de que se ejecuten todos los procesos que son necesarios para producir los productos y/o prestar los servicios que le han sido encomendados.

A efectos de modelado, tenemos los siguientes niveles (véase Figura 6):

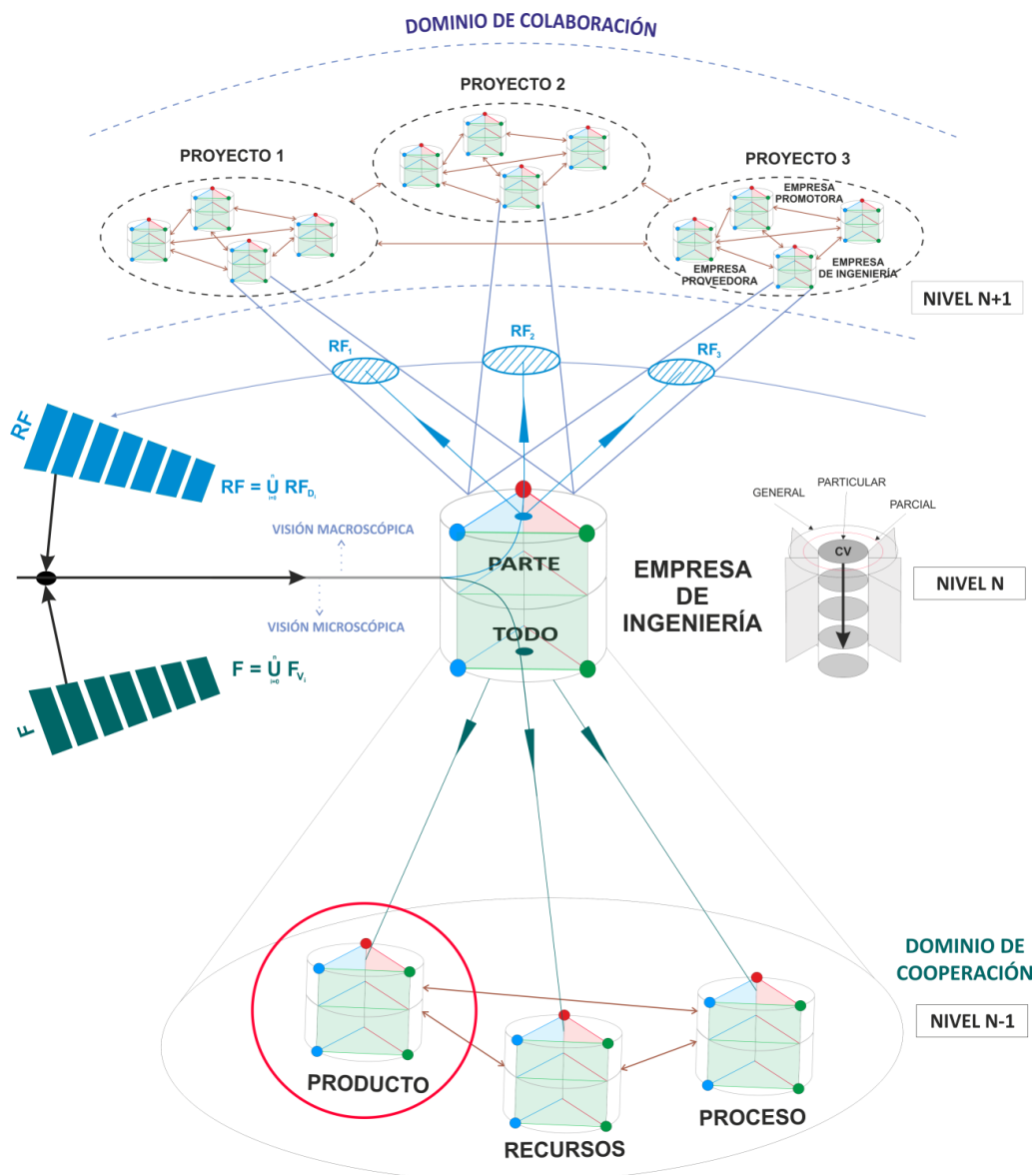
- i. **Holarquía de nivel n+1:** define el DOMINIO COLABORATIVO y los requerimientos holónicos. Este nivel se corresponde con el holón empresarial en sentido amplio integrado por las holarquías de las distintas empresas que soportan cada uno de los proyectos. Estas holarquías determinan el comportamiento sostenible de nivel N de acuerdo con su capacidad de acogida.
- ii. **Holarquía de nivel n-1:** define el DOMINIO COOPERATIVO y la competencia o capacidades holónicas.

De la interacción de distintas empresas: empresa promotora y empresa de ingeniería cuyo objetivo es acometer un proyecto de construcción obtenemos holones emergentes en el dominio de cooperación y constituido por los holones

procesos y recursos que son necesarios para llevar a cabo dicho proyecto y el holón producto (edificación sostenible) como resultado de dicho proyecto.

- iii. **Holón de nivel n:** actúa como interfaz de adaptación de la variedad holónica entre los niveles n-1 y n+1. Se define el ciclo de vida (vistas, fases, generalidad) y los mecanismos de autorregulación. En este nivel el holón se dota de mecanismos de AUTORREGULACION validación, verificación y estrategias de control hacia arriba y hacia abajo (funciones-F- y requerimientos funcionales – RF-). En este nivel se establece la consigna de indicadores de sostenibilidad bajo la 3E. Se corresponde con la empresa de ingeniería que interactúa con el resto de empresas dentro de un proyecto en concreto. Dicho holón tiene como holarquía de control y regulación, como todo y como parte, procedimientos derivados de la triple E. A su vez dicho holón se integra bajo estos mecanismos de control en la holarquía de proyectos, proyecto 1, proyecto 2 o proyecto 3, e integra las holarquías de nivel N-1 bajo los procedimientos de sostenibilidad derivados de la triple E específicos del holón como todo y delegados en un holón de coordinación de la sostenibilidad.

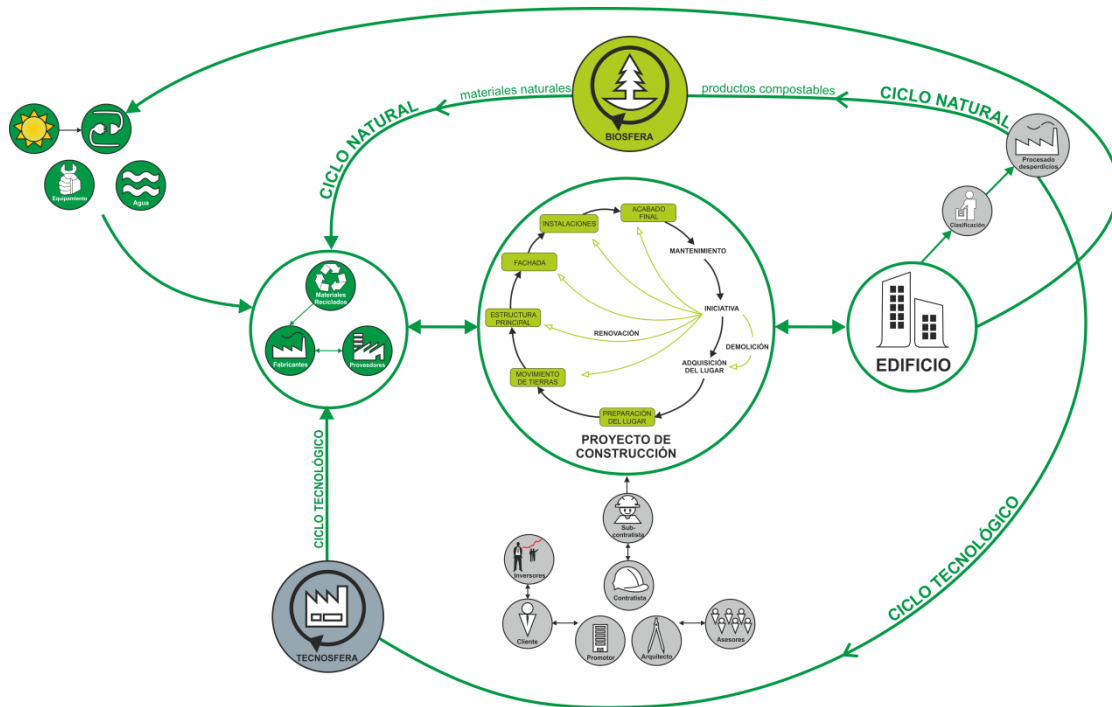
Figura 6: Modelo holónico para abordar proyectos sostenibles de entornos construidos



Si desarrollamos el holón PRODUCTO (desde el punto de vista del aspecto ambiental) en nuestro caso el edificio industrial, el modelo propuesto está constituido por una holarquía descrita en la figura 5, que es el resultado de la holonización de dicho producto contemplando los procesos necesarios para el entorno construido, los recursos tanto técnicos como humanos y el producto final resultado de la realización del proyecto, la construcción del edificio.

Este modelo parte del modelo de construcción actual representado en la figura 2, junto con la filosofía C2C de cierre de ciclos materiales como puede verse en la figura 7.

Figura 7: Despliegue del holón producto (construcción sostenible) bajo la filosofía C2C



El cierre de ciclos se realiza desde la salida hacia la biosfera a través de ciclos naturales enviando materiales compostables y de la biosfera de nuevo a la entrada como alimento al nuevo proceso. Los materiales que no puedan ser enviados a la biosfera serán tratados siguiendo el ciclo tecnológico para que de igual manera sirvan de alimento a la entrada. Tenemos por tanto un ciclo cerrado en materia y abierto en energía en este caso la energía solar (energía renovable).

6. Consecuencias del modelo propuesto.

Derivado de este estudio podemos decir que el modelo presentado respondería a las necesidades de integrar las construcciones actuales en los ciclos naturales.

Llegados a este punto, la pregunta que nos podemos hacer es: ¿Cómo es posible que un proceso de construcción sostenible se defina y se consiga?

Actualmente, los procesos de construcción presentan una serie de obstáculos como pueden ser: la actual forma de pensar lineal que se opone a la cíclica (deseable); la falta de compromiso necesaria durante el proceso;

el uso de etiquetas como injustificable definición para la construcción sostenible y la rentabilidad de iniciativas sostenibles.

Para conseguir solventar los obstáculos que se presentan, necesitamos un modelo de construcción sostenible, como el propuesto en apartados anteriores, que entre sus logros se encuentren: los análisis sobre el impacto en el planeta y beneficios; solución de diseño basada en modelos definidos; la factibilidad técnica y financiera; integración de la cadena de suministro y manera cíclica de pensamiento.

7. Conclusiones

La responsabilidad ambiental recae sobre todos los actores que constituyen la sociedad: los sectores productivos, las instituciones estatales y gubernamentales, las empresas de servicios, entre otros. Dadas las circunstancias del deterioro ambiental del planeta es prioritario que todos los actores involucrados tomen medidas para la protección del medio ambiente y su recuperación.

A pesar de que las organizaciones empresariales se esfuerzan por hacer las cosas correctas y por aplicar las más modernas herramientas de gestión y control en los proyectos que realizan, la realidad sigue superando al diseño y a la planificación, y los resultados no son satisfactorios.

Alrededor de los proyectos llevados a cabo por las empresas, existe una problemática derivada de la complejidad; el manejo de esa complejidad con la variedad requerida y la sostenibilidad empresarial para la supervivencia ante entornos cambiantes.

Actualmente no existe un modelo que ayude a manejar la complejidad proyectual en los entornos construidos y que además contemple un aspecto que cobra gran relevancia en los proyectos como es la sostenibilidad.

Por ello se ha estudiado el paradigma holónico como modelo de representación de la complejidad empresarial en la concepción de proyectos sostenibles para entornos construidos, que permita caracterizar las distintas entidades holónicas a efectos de modelado.

8. Bibliografía

- Aguayo, F. (2003). *Diseño y Fabricación de Productos en Sistemas Holónicos: Aplicación al Desarrollo de un Módulo Holónico de Diseño*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.
- Ausgabe, D. (2004). *A guide to the project management body of knowledge*: Global Standard.
- Carpenter, T. G. (2001). *Construction in a fragile world* (Vol. 1). West Sussex, England: Wiley & Sons, Ltd.
- Higgin, G., & Jessop, N. (1965). *Communications in the Building Industry*. London: Tavistock Publications.
- Koestler, A. (1976). *The act of creation*. The Danube Edition, London.
- Koestler, A. (1981a). *The ghost in the machine*. The Danube Edition, London.
- Koestler, A. (1981b). *Jano*. Ed. Debate, Madrid.
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. Finland: VTT publications.

- Koster, G. (2010). *Cradle to Cradle; een winst voor bouwbedrijven*. Breukelen: University of Nijenrode.
- Kristinsson, J. (2012). *Integrated Sustainable Design*. Delft: Delft digital press
- Manfron, V., & Mallgrave, H. (2009). *Buildings that are sustainable*. Paper presented at the SASBE, Delft.
- McDonough, W. y Braungart, M. (2005). *Cradle to Cradle (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 de España S.A.U. 186p. ISBN: 84-481- 4295-0.
- Mehta, M., Scarborough, W., & Diane, A. (2009). *Buidling construction: principles, materials and systems*. Boston: Pearson.
- Mella, P. (2009). *The holonic revolution: holons, holarchies and holonic networks: the ghost in the production machine*. Pavia University Press.
- Redclift, M. R., & Voodgate, G. (2010). *International Handbook of envirnmental sociology*. Edward Elgar Pub.
- Wamelink, J. W. F. (2009). *Inleiding bouwmanagement*. VSSD.
- Winch, G. M. (2010). *Managing Contruction Projects* (Second edition ed.). Manchester: Wiley-Blackwell.
- Winkler, G. (2010). *Recycling Construction & Demolition Waste*: McGraw-Hill.