

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES

10.1 Planteamiento de las conclusiones

El desarrollo de los temas tratados a lo largo de los nueve capítulos precedentes deja una serie de resultados cuantitativos y también de aproximaciones cualitativas que son necesarios ordenar, puntualizar, describir y comentar en esta parte final de la tesis, donde tienen lugar las conclusiones generales.

En el cierre de cada capítulo han tenido lugar unas conclusiones parciales, dedicadas a facilitar el entendimiento de los extremos que cada uno de ellos dejaba concluidos, de los interrogantes que surgían a partir de ellos a ser tratados en las siguientes fases, y del seguimiento del hilo conductor que se ha pretendido trazar a lo largo de la investigación.

La estructura de estas conclusiones generales comienza por recordar rápidamente esas conclusiones parciales a efectos de tenerlas presentes ahora y también a referir el punto del estudio en que tales conceptos alcanzan un tratamiento específico y donde puede, por tanto, recurrirse en busca de mayor información específica. Seguidamente tienen lugar las conclusiones generales que en parte se basan en las anteriores -apoyándose en el método de la descomposición del todo para su más fácil abordaje y comprensión- y en parte se basan en el total de la investigación entendida como un elemento unitario, que seguramente resulta más complejo y rico que la suma de sus fases.

En esta segunda parte de conclusiones tienen lugar unas reflexiones que se organizan metódicamente a partir de los resultados alcanzados, e intentan responder a los interrogantes planteados en la tesis así como a su estructura de contenidos. Se estructuran según una secuencia de ocho apartados temáticos.

A partir de lo anterior la estructura de contenidos que en adelante presenta las conclusiones puede resumirse en los siguientes puntos.

- 10.2 Síntesis de las conclusiones parciales
- 10.3 Conclusiones en relación con el planteamiento y los resultados de esta investigación

10.2 Síntesis de las conclusiones parciales

El capítulo 1 (Sostenibilidad y arquitectura: los ciclos materiales) razona sobre el capital natural entendido como un conjunto de recursos que a diferencia de la energía es finito y que por tanto necesita ser preservado. En ese contexto, se llega a establecer la necesidad de entender a la edificación como un metabolismo de materiales actualmente representado por el flujo lineal de extracción, fabricación, uso y residuo que domina el modelo productivo de la industria. La clave para la transformación de este modelo abierto es la ecología industrial que, aprendiendo de los ciclos de gestión de materiales de la biosfera impulsados a energías renovables, busca reducir la entropía de los materiales y recuperar su utilidad¹.

Seguidamente el capítulo 2 (El problema del ciclo abierto de los materiales) analiza el impacto ambiental de las construcciones llegando a caracterizar la repercusión del sector a lo largo como una de las más significativas en el contexto de la sociedad. En este punto está claro que la edificación absorbe nuevos recursos y expulsa contaminación en forma creciente, y que a partir de ello su impacto ambiental relativo es de los más importantes. El estudio de las acciones correctivas que suelen aplicarse sobre este cuadro demuestra que si bien disminuyen el problema, no son capaces de superarlo. En consecuencia queda claro que para salir de esta situación es necesario un cambio de modelo de lineal a cíclico.

En el capítulo 3 (¿Es posible cerrar el ciclo de los materiales?) se analizan los condicionantes del modo convencional de construir, usar, mantener y demoler edificios, determinándose que resulta imposible superarlos sin cambios estructurales. La clave es el control de gestión de los recursos a lo largo del ciclo de vida y a partir de ello se plantea la hipótesis de una arquitectura de ciclo cerrado, centrada en la vivienda, cuyo mecanismo de validación será la determinación y la verificación de las condiciones a cumplir por los sistemas constructivo, industrial y comercial. De entre las diferentes alternativas industriales² existentes la construcción modular, ligera, desmontable y de alquiler presenta las mejores condiciones de partida. Ese es el ámbito de la investigación.

El capítulo siguiente es el 4 (La consideración ambiental de la vivienda industrializada y ligera en la historia) permite detectar las constantes de interés en los sistemas analizados: la eficiencia en el uso de los materiales y el transporte, la reducción de los residuos y, en algunos casos, la recuperación de elementos constructivos y la posibilidad de desmontar y volver a montar el edificio. También se aparecen desventajas comunes: la elevada mochila ecológica y las dificultades para separar los materiales, la falta de inercia térmica y una pérdida de eficiencia de recursos en los sistemas más recientes. Queda claro el inventario de problemas ambientales a resolver en la construcción industrializada ligera.

El capítulo 5 (La consideración ambiental de la vivienda modular y ligera en la actualidad) profundiza la revisión de los sistemas constructivos en el segmento de mayor interés, los proyectos y edificios construidos, desconstruibles y comercializados en alquiler en el presente. Se verifica la calidad constructiva y arquitectónica de muchos de ellos y también la existencia de las técnicas empleadas en diversos países. Esto, junto con consideraciones urbanísticas y sociales, permite determinar la tipología de edificio que se empleará en el análisis de los sistemas constructivos.

En el capítulo 6 (Metodología de análisis ambiental según el cierre del ciclo de los materiales) se razona sobre el sistema de evaluación a utilizar que, considerando los límites de información y herramientas de trabajo disponibles, concluyendo en el análisis de ciclo de vida resumido y basado en pocos indicadores. Se establece un método específico para el análisis del cierre de los ciclos materiales y se determinan técnicamente las condiciones de no reciclable, infrarreciclable, parcial y completamente reciclable de los materiales.

El capítulo 7 (Análisis ambiental comparado de construcción modular y convencional) verifica las supuestas ventajas de la construcción industrializada respecto de la convencional (como el mayor control de los residuos) y sus supuestas desventajas (como la mayor energía incorporada en los materiales). Afloran las ventajas comparativas de ciertos materiales, como las menores emisiones de CO₂ del sistema basado en madera, o las desventajas de ciertos aspectos de gestión, como el transporte de productos a gran distancia. Se verifica que los sistemas industrializados presentan un gran potencial para cerrar ciclos y se definen las estrategias correspondientes para cada etapa del ciclo de vida.

El capítulo 8 (Un prototipo modular según el cierre del ciclo de los materiales) a partir de las pautas de diseño y gestión definidos en el capítulo anterior, determina y evalúa el sistema modular optimizado que se propone, estableciendo que es posible cerrar el ciclo de sus materiales (aunque sin incluir la energía) en un 95%. En casi todos los indicadores se alcanza una mejora respecto de los sistemas constructivos analizados previamente.

Finalmente el capítulo 9 (Un sistema de gestión según el cierre del ciclo de los materiales) verifica que la construcción industrializada modular tal como se gestiona actualmente, aún cuando es de alquiler, sigue respondiendo al modelo productivo lineal y en consecuencia no presenta una mejora sino peor desempeño ambiental respecto de la construcción convencional. La investigación de fabricación de materiales, en cambio, comprueba el nivel de cierre de ciclos establecido en el capítulo anterior y deja claro el próximo paso de la industria: reciclar, y hacerlo con energía renovable. Se establecen las pautas para el rediseño de la gestión industrial y el comercial, complementos indispensables del sistema modular optimizado.

10.3 Conclusiones de la investigación

Los contenidos de este apartado se estructuran según los interrogantes habituales que se plantean en una tesis más otros específicos de ésta. La secuencia de temas escogidos intenta plantear un orden de conclusiones y también facilitar su lectura y comprensión.

Se exponen ocho puntos: planteamiento, hipótesis, metodología, limitaciones, resultados, repercusión, nuevas vías y trabajos post-tesis.

- El planteamiento de la tesis respecto de la problemática detectada

El estudio se centra en el impacto ambiental de la arquitectura y en la conexión directa entre éste y el paradigma de producción lineal extractor de recursos y generador de residuos que caracteriza a la sociedad industrial. A partir de ello, si el modelo de producción de la edificación no se modifica sustancialmente, es posible disminuir gradualmente los impactos ambientales de la edificación hasta cierto punto, pero no neutralizarlos. Plantear el estudio del tipo de edificación que mayores potencialidades presenta para cerrar los ciclos materiales, combinando un análisis de ciclo de vida resumido adaptado a las disponibilidades del sector con una fórmula propia para el cierre de ciclos, permitió situar a la investigación en el terreno deseado, que es el de las estrategias definitivas (no paliativas). Se ha podido comprobar cómo el cierre del ciclo de los materiales actúa directamente sobre la reducción de los principales impactos ambientales (emisiones de CO₂, consumo de energía, generación de residuos sólidos, etc.), validando la estrategia de la investigación.

- El desarrollo y la verificación de la hipótesis planteada

Tal hipótesis consistía en que era posible definir las características principales del sistema constructivo, industrial y comercial que hicieran posible una arquitectura de ciclos cerrados en lugar de abiertos, con aplicación en la vivienda. Un matiz a destacar, derivado de una preocupación personal, era que ello pudiera hacerse manteniéndose dentro de las limitaciones que el mercado global presenta. Esta hipótesis ha podido ser trabajada y comprobada, llegándose a determinar mediante el estudio de flujos y características de los materiales que es posible mantener hasta un 95% de los recursos empleados a lo largo del ciclo de vida del edificio dentro del sistema técnico industrial, reciclándolos constantemente. La clave para ello no radica tanto el diseño del edificio o en el sistema constructivo empleados como en la gestión de los recursos, conclusión que abre un sinnúmero de posibilidades formales y materiales para diversos tipos de edificación cuyo objetivo sea cerrar ciclos. En tanto, la energía empleada en la fabricación de materiales no sigue las mismas pautas de renovación, siendo ésta posiblemente la principal apuesta a redoblar en la industria.

...el cierre del ciclo de los materiales actúa directamente sobre la reducción de los principales impactos ambientales...

> El prototipo desarrollado bajo demandas de cierre de ciclos presenta niveles de consumo de energía o emisiones de CO₂ hasta un 50% inferiores a los sistemas convencional y modulares de hormigón, acero y madera (Cap. 8 / 8.3 Análisis ambiental y de cierre de ciclo)

...es posible mantener hasta un 95% de los recursos empleados a lo largo del ciclo de vida del edificio dentro del sistema técnico industrial, reciclándolos constantemente.

> Hasta 440 Kg/m² de un total de 458 Kg/m² del peso de los materiales en el sistema modular propuesto es efectivamente reciclado (Cap. 9 / 9.2 El ámbito industrial).

...se ideó un sistema mixto, que vincula el análisis de ciclo de vida resumido, limitado a unos pocos impactos elocuentes, a una medición específica de cierre de ciclos...

> La contabilidad de los materiales empleados y su ponderación en peso, energía y emisiones de CO₂ determinó un conjunto de sólo 15 materiales que resumen el 95% del impacto ambiental. (Cap. 8 / 8.2 Determinación de un prototipo modular optimizado). Los porcentajes, en esos materiales, efectivamente reciclados y reciclables establecen un grado de cierre de ciclos de más del 90% (Cap. 9 / 9.2 El ámbito industrial).

...la clave del cierre de ciclos... no reside ni en un tipo de edificio, ni en sistema constructivo, ni unos materiales, sino en el control y la gestión continua de los recursos a lo largo del ciclo de vida...

> Los sistemas de mercado analizados (convencional y modulares de hormigón, acero y madera) se sitúan entre el 1% y el 10% y entre el 5% y el 45% de reciclaje en los materiales al comienzo y al final del ciclo de vida respectivamente (Cap. 7 / 7.6 Síntesis comparativa). El sistema modular optimizado, con casi los mismos materiales pero gestionándolos para cerrar ciclos, lo hace en el 95% y 96% respectivamente (Cap. 9 / 9.2 El ámbito industrial).

- La determinación de la metodología de análisis, propuesta y verificación

Los sistemas usuales de evaluación ambiental, entre los que no se incluye el cálculo exegético³, no resultaban adecuados para estudiar la relación de la edificación con el modelo de producción extractor de recursos / generador de residuos y al mismo tiempo plantear una alternativa que cierre ciclos materiales. Los sistemas de cálculo y alternativas de reducción de diversos impactos ambientales de los edificios suelen hacer posible el desarrollo de estrategias paliativas (la disminución del problema) pero no definitivas (la eliminación del problema). Tampoco resultaban completamente adecuados los sistemas de certificación ambiental que establecen puntuaciones o categorías (LEED, GBTool, Casbee, etc.) debido a la complejidad de información que necesitan, a las dificultades de adaptación al medio local y, más importante aún, a la ausencia de una evaluación específica sobre el cierre de ciclos materiales. Frente a este problema se ideó un sistema mixto, que vincula el análisis de ciclo de vida resumido, limitado a unos pocos impactos elocuentes, a una medición específica de cierre de ciclos basada en el estudio de los flujos de recursos y su reciclabilidad.

Hablar de una nueva metodología parece excesivo, aunque sí parece posible decir que ha habido una aportación metodológica, que consiste en una forma de evaluar cuánto se aproxima o no un determinado tipo de edificación al ciclo cerrado de los materiales.

- Los resultados obtenidos en esta investigación

Posiblemente la conclusión más importante del estudio sea, como ha sido comentado al hablar sobre la verificación de la hipótesis, haber comprobado que bajo las actuales condiciones de mercado y restringiéndose a unas ciertas condiciones constructivas, industriales y comerciales es posible hablar de una arquitectura que cierra sus ciclos materiales. Pero la manera en que el sistema estudiado llega a determinar esta condición merece un comentario aclarador, porque podría pensarse que lo que en esta tesis se propone un modelo arquitectónico a seguir.

Es cierto que las condiciones de prefabricación, modularidad, desconstrucción, materiales reciclados y comercialización en alquiler facilitan el camino, pero no son la única vía posible. Aquí se los ha elegido como requisitos determinantes porque eran preexistencias que el mercado presentaba, abreviaban el estudio y simplificaban el análisis. Ha legado a verificarse que la clave del cierre de ciclos, y posiblemente este sea el resultado de mayor interés de la investigación por su posible repercusión, no reside ni en un tipo de edificio, ni en sistema constructivo, ni unos materiales, sino en el control y la gestión continua de los recursos a lo largo del ciclo de vida. Esta clave puede aplicarse a otros edificios, otros sistemas constructivos y otros materiales; abriendo un gran abanico de posibilidades.

- Las posibilidades de aplicación de los resultados alcanzados en la edificación
 No se propone que todo edificio se realice mediante sistemas modulares y temporales. Seguramente la materialización de la arquitectura, aun cuando responda rigurosamente a estrategias ambientales definitivas, dispone de otros sistemas técnicos que hacen posible que los recursos se reciclen en el sistema industrial o se renueven en el sistema biosférico. Las vías de búsqueda y los resultados alcanzados respecto del cierre de los ciclos materiales pueden extrapolarse o adaptarse a otros sistemas de gestión de recursos -la palabra clave es gestión- y para ello deben ser capaces de mantener su dominio a lo largo del ciclo de vida y crear formas de renovarlos. Se ha visto cómo el alquiler y la desconstrucción facilitan el control de los recursos evitando la conversión en residuos, aspectos que podrían aplicarse a otros sistemas constructivos y tipologías de edificio si admiten materiales reciclados y permiten ser desmontados⁴. Esto podría aplicarse, por ejemplo, en los sistemas constructivos prefabricados de hormigón armado si fueran capaces de facilitar la separación del acero y el hormigón (mediante el postesado) y utilizar árido producto del hormigón en desuso (actualmente autorizado sólo parcialmente en hormigones in situ). La pregunta a hacerse, en este último caso, no es cómo debe ser el árido reciclado para poder ser utilizado en el hormigón sino como debería ser el hormigón para poder utilizar el árido reciclado.

- Los límites que la investigación ha ido encontrando en su desarrollo
 El cierre de los ciclos materiales alcanzado no ha llegado al 100% ni tampoco se ha podido extender esta consideración a la energía consumida en su extracción y fabricación, a la empleada en el transporte, el uso del edificio, el derribo, etc. Oportunamente se ha aclarado que ello excedía las posibilidades prácticas de la investigación puesto que no era posible profundizar el estudio de tantos aspectos al mismo tiempo y por ello se dejaba pendiente. Posteriormente el desarrollo de la tesis permitió saber que, por una parte, no hubiera podido disponerse de suficiente información como para realizar una contabilización del cierre de ciclos de la energía y, por otra parte, el nivel de avance logrado por la industria de generación energética y fabricante de productos para la construcción en este terreno no resulta comparable al del reciclaje de materiales. Dicho de otra manera, si bien ha podido comprobarse la existencia de altas tasas de contenidos reciclados y reciclaje efectivo de los materiales, que llegan casi al 100% en algunos casos, la proporción de energía renovable empleada en ello no ha podido conocerse o bien resulta extremadamente baja. Llegada a este punto la investigación encontró una contención para poder alcanzar la condición absoluta en el cierre de los ciclos materiales ya que, además de los factores comentados, existen limitaciones físicas para alcanzar el 100%, cuyo estudio debería continuarse.

... el alquiler y la desconstrucción facilitan el control de los recursos evitando la conversión en residuos, aspectos que podrían aplicarse a otros sistemas constructivos y tipologías de edificio...

> La construcción modular aplicada a la vivienda no es el único sistema que puede cerrar ciclos materiales. En la actualidad, en determinados mercados, el acero de las estructuras montadas en seco y los pavimentos de junta reversible se alquilan por plazos que van desde pocos años hasta décadas para asegurar el retorno de los materiales. La clave es el modelo de gestión: de la venta del producto al alquiler del servicio (Cap. 9 / 9.2 El ámbito industrial / 9.3 El ámbito comercial)

... la investigación encontró una contención para poder alcanzar la condición absoluta en el cierre de los ciclos materiales...

> Las bases de datos empleadas reflejan una utilización mínima de energías renovables en la fabricación de materiales, que en la mayoría de los casos no supera el 5 o 10% (Caps. 7 y 8).

> Existen límites para el reciclaje total de los materiales, ya que aún en los que más se reciclan, como el acero y el aluminio, dado que el stock de material en uso no es suficiente para abastecer la demanda en parte se fabrican con materias primas vírgenes. (Cap. 1 / 1.2 La ecología industrial y la arquitectura).

... Esta investigación se ha basado en la industria como el sistema a emplear para cerrar ciclos, aunque casi no ha abordado el sistema biosférico...

> El cierre de los ciclos materiales puede hacerse a partir del sistema técnico industrial o de la biosfera. El conocimiento tradicional es la fuente de la que pueden recuperarse las técnicas de cierre de ciclos materiales basadas en la biosfera como gran máquina de reciclar. Muchas de esas técnicas darían soluciones a problemas actuales con el mínimo coste ambiental. (Cap. 2 / 2.2 El ciclo de los materiales en la arquitectura).

...ha sido posible acordar la realización de un seguimiento post tesis para ambos proyectos... nuevas posibilidades de interacción con la industria y seguramente nuevas oportunidades de reflexión acerca de la clave del cierre de ciclos materiales.

> En el momento en que esta tesis acaba de escribirse comienza el seguimiento de fabricación y construcción de los primeros edificios de viviendas de España realizados con los sistemas modulares Compact Habit (hormigón, Cataluña) y Modultec (acero, Asturias).

- Algunas nuevas vías de investigación que pueden abrirse a partir de esta tesis

La investigación llevada a cabo razona sobre las posibilidades del cierre del ciclo de los materiales en un subsector específico de la edificación, pero lo hace de una manera general y aproximada, más con la intención de poder definir un nuevo modelo gestión que de llegar a unos resultados exactos e indiscutibles. Los límites de aplicación del modelo de gestión que ha podido definirse no se conocen y a partir de ello se abre un nuevo campo de exploración.

Podría plantearse el interrogante de cuántos y cuáles sistemas constructivos y tipos de materiales admiten las demandas del modelo de ciclos cerrados. También cuántas y cuáles tipologías y usos de edificios podrían gestionarse manteniendo sus recursos dentro del sistema técnico industrial. En este sentido el mercado presenta algunos ejemplos ilustrativos. El sistema de alquiler a largo plazo del acero estructural en edificios de junta seca en el Reino Unido, que se recupera hasta en un 95% para nuevos usos, es uno de ellas. Se aplica sobre lo que allí se entiende como construcción convencional, algo que en principio parecería muy alejado del campo de esta tesis.

Esta investigación se ha basado en la industria como el sistema a emplear para cerrar ciclos, aunque casi no ha abordado el sistema biosférico. Podría hacerse la pregunta de cuáles son las posibilidades de cerrar ciclos que la arquitectura tiene a partir de ella.

- La continuidad de la investigación desarrollada más allá de la tesis

Esta investigación alcanza un punto de conclusión entre los capítulos 8 y 9, cuando se define el sistema constructivo y las características de la gestión industrial y comercial que permiten hablar de ciclos materiales cerrados en un 95%. No obstante, en los puntos quinto y séptimo de este apartado se han señalado algunas vías de investigación que podrían derivar de esta tesis, aunque de tener lugar serían nuevos caminos y por tanto ajenos a ella.

No obstante, un par de emprendimientos no conectados directamente con este trabajo aunque simultáneos con la redacción de estas conclusiones ofrecen la oportunidad de una nueva experiencia en relación con el tema. Se trata de dos edificios de vivienda de protección oficial promovidos por el Institut Català del Sòl a construir con sistemas modulares reseñados en el Capítulo 9. El primero de ellos se localiza en Banyoles, Gerona y el segundo lo hace en Torelló, Barcelona. En ambos casos ha sido posible acordar la realización de un seguimiento post tesis para ambos proyectos, algo que aportará nueva información, nuevas posibilidades de interacción con la industria y seguramente nuevas oportunidades de reflexión acerca de la clave del cierre de ciclos materiales: que no reside ni en un tipo de edificio, ni en sistema constructivo, ni unos materiales, sino en el control y la gestión continua de los recursos a lo largo del ciclo de vida.

Referencias bibliográficas:

[Naredo, Valero et al. 1999] J. M. Naredo y A. Valero (eds), Desarrollo económico y deterioro ecológico, Fundación Argentaria/Visor. Colección Economía y Naturaleza, Madrid, España, 1999 ISBN 84-7774-981-7.

[Gutiérrez, Naredo 2005] A. Gutiérrez, J. M. Naredo (coordinadores), La incidencia de la especie humana sobre la faz de la tierra, Fundación César Manrique y Editorial de la Universidad de Granada, España, 2005, ISBN 843383519X.

Notas

¹ La baja entropía es el soporte de la utilidad de los materiales, tal como afirmaba N. Georgescu Roegen. Rehabilitar los materiales mediante su reciclaje implica reducir su entropía, aunque ello en las formas actualmente habituales sólo es posible mediante la degradación de otros lugares para obtener, por ejemplo, la energía (no renovable) que se emplea en los procesos industriales. El aprovechamiento de la degradación entrópica del sol –que es inevitable- desde hace 4500 millones de años nos provee la radiación que debe ser la fuente para reducir la entropía de los materiales mediante su reciclaje, es decir convirtiendo los residuos nuevamente en recursos.

² Existen también alternativas no industriales que pueden alcanzar la condición de ciclos materiales cerrados, tema que ha sido tratado en el Capítulo 3, y son los sistemas tradicionales basados en los materiales naturales cuya degradación, más lenta o más rápida pero inexorable, los devuelve al medio en forma de nutrientes o inertes al final del ciclo de vida de la construcción.

³ Tal como ha sido presentado oportunamente, el cálculo exergético [Naredo, Valero et al. 1999], [Gutiérrez, Naredo 2005] es la metodología que permite evaluar las actividades humanas –como la edificación- en términos de reposición de capital natural afectado. No obstante, su aplicación en el sector es aún incipiente y no se dispone de suficiente experiencia, herramientas de cálculo, bases de datos de referencia, etc., como para haberse podido aplicar en esta investigación.

⁴ Adicionalmente y como ha sido mencionado en el Capítulo 9, los edificios desconstruibles plantean una oportunidad respecto del uso del suelo, de especial interés en entornos urbanos donde éste es escaso y por tanto también caro. La temporalidad del edificio, así como su ligereza que no requiere de grandes estructuras enterradas, abre la posibilidad de utilizar el suelo en forma transitoria, sin grandes alteraciones, de manera que podría alquilarse en lugar de comprarse. Se desacoplaría de esta manera la extraordinaria repercusión que el precio de compra del suelo escaso habitualmente tiene sobre la vivienda.