

El ecodiseño y la fabricación aditiva contribuyen juntos a una mayor circularidad de la economía

Carlos Torres de la Torre ⁽¹⁾

Resumen: En esta investigación se analiza la contribución del ecodiseño tanto en reducción de huella de carbono como en desmaterialización de la economía en el marco de las fases de prevención y reducción de la economía circular. En la parte de la investigación que da lugar a este artículo se busca indagar si las compañías que adoptan un modelo de negocio circular basado en ecodiseño reducen su huella ecológica. Se demuestra la existencia de relaciones entre las decisiones tomadas en la etapa de diseño de un producto y el nivel de consumo de energía y suministros durante las etapas de fabricación, distribución y uso de los productos, así como la reducción de desechos al final de su vida útil. Se encuentra además una relación entre el diseño y el tiempo en que los materiales permanecen en uso. Adicionalmente, se describe el papel que tiene la fabricación aditiva en potenciar la circularización de la economía. Se encuentra una relación entre el diseño generativo y la optimización topológica como estrategias para optimizar el diseño y una menor huella ecológica. Se concluye que, a pesar de las objeciones contra los plásticos, la impresión 3D presenta un balance ambiental positivo si se lo compara con la industria tradicional basada en economías de escala. En el mismo sentido, el diseño para fabricación aditiva contribuye a una mayor circularidad de la economía.

Palabras clave: Ecodiseño - fabricación aditiva - impresión 3D - economía circular - diseño generativo - optimización topológica - red generativa antagonica

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 112]

⁽¹⁾ **Carlos Torres de la Torre.** Doctor en Diseño por la Universidad de Palermo y Magíster en Gestión Empresarial. Adscrito a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en la Carrera de Diseño de Productos de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Artes. Ha sido profesor de Diseño de Productos, Diseño Industrial y Marketing en varias universidades del Ecuador. Certificado como investigador por la SENESCYT. Sus líneas de investigación son: economía circular, ecodiseño y diseño de sistemas producto-servicio.

Introducción

El concepto de economía circular no se puede rastrear hasta una sola fecha o autor, ha estado evolucionando desde la década de 1970 basándose en diferentes escuelas de pensamiento (Wautelet, 2018). Algunos académicos consideran que el término fue empleado inicialmente por Pearce y Turner (Andersen, 2007; Greyson, 2007; Heshmati, 2015; Su et al. 2013), mientras que otros sostienen que los orígenes de la economía circular tienen sus raíces principalmente en la economía ecológica y ambiental y en la ecología industrial (Ghisellini et al. 2016; Murray et al. 2017). Además, según Ellen MacArthur Foundation (2012), teorías más recientes como la economía del rendimiento, de la cuna a la cuna, la biomiméisis y la economía azul han contribuido a refinar y desarrollar aún más el concepto (pp. 26-27). Sin embargo, en lo que estos autores coinciden es en la necesidad de priorizar las actividades tendientes a lograr una mayor circularidad de la economía. Esta jerarquización de la economía circular tiene su origen en la regla de las 3R que fue concebida para que fuera fácil de recordar, especialmente el orden en que se presentan priorizando la reducción antes que la recuperación y esta antes que el reciclaje. Actualmente, hay autores que emplean el sistema multi-R (MPCEIP y GIZ, 2021; Potting et al, 2017). Sin embargo, demasiadas R son difíciles de recordar en orden. Además, “pretender que los términos que definen los conceptos a priorizar empiecen todos con la letra R es algo forzado y que esto además funcione en varios idiomas parece un despropósito.” (Torres de la Torre, 2020)

En este artículo se organiza presentando las relaciones entre el ecodiseño y la fabricación aditiva con la economía circular empezando por aquellas correspondientes a la prevención de impactos negativos al ambiente, luego, las referidas a la reducción en el consumo de recursos y la extensión de la vida útil de los productos y finalmente las de recuperación de materiales a través del reciclaje.

Prevención

El diseño resuelve problemas específicos, pero cuando se trata asuntos ambientales, es necesario que esté presente en la política pública. La sostenibilidad debe basarse firmemente en los detalles esenciales del diseño. Para ello, se requiere infundir el diseño de productos con una comprensión rica y detallada de la ecología. “Para integrar con éxito la ecología y el diseño, debemos reflejar las profundas interconexiones de la naturaleza en nuestra propia epistemología del diseño” (Van der Ryn y Cowan, 2007, p. 9). En consecuencia, un aspecto importante del ecodiseño es el de concebir objetos resistentes con la menor cantidad de material y peso. Esto aplica tanto para el proceso de fabricación como para el uso. En este último aspecto hay que tener presente que la operación y el mantenimiento de muchos productos requiere insumos que hay que considerar desde la etapa de diseño. Es preferible, por ejemplo, un inodoro que requiera algo más de cerámica para su fabricación pero que emplee menos agua en cada descarga.

En cuanto al proceso de fabricación, Casas (2018) demuestra que “un gran porcentaje de las emisiones de CO₂ se debe a la cantidad de material necesario para la fabricación de

las distintas piezas” (p. 69). Es por ello que los métodos de fabricación aditiva resultan más amigables que los que implican mecanizado. Es importante también considerar la reducción de desperdicio a través de un diseño para impresión 3d no requieran soportes. Sin embargo, el diseño no solo debe considerar el proceso de fabricación sino también la reducción de peso a través de la optimización geométrica de la pieza. Es aquí donde la optimización topológica y el diseño generativo entran en juego.

La optimización topológica se usa para generar sistemas con formas complejas en las que se configura el objeto a partir de una forma general predeterminada. con este método de diseño se elimina material a partir de un modelo 3d para lograr el diseño más eficiente. En este sentido Meza, Tamayo y Franco (2014) demuestran que

la optimización topológica es una técnica muy útil en el diseño de piezas mecánicas de peso reducido. Las topologías obtenidas llevan, después de un proceso de interpretación, a piezas mecánicas más livianas, manteniendo una resistencia mecánica comparable, según el análisis estático. (p. 79)

En el mismo sentido, el enfoque de la optimización topológica estructural ha ido cambiando de estructuras continuas de un solo material a estructuras multimateriales y multiescala. Por otra parte, la optimización topológica no se preocupa de la estética ni de otras consideraciones que se usarían normalmente en el diseño tradicional.

Por su lado, el diseño generativo es una manera de generar diseños óptimos a partir de un conjunto de requerimientos del sistema a diseñar siguiendo restricciones, umbrales y parámetros, incluyendo materiales y procesos. Celani (2008) categoriza a los sistemas generativos en dos grandes grupos: el de combinaciones de elementos, como la enumeración sistemática de combinaciones y los algoritmos genéticos y el de los sistemas basados en reglas, como los fractales y la gramática de formas.

El diseño generativo, está basado en el diseño paramétrico, sobre todo en cuanto a modelado, “el producto final es el resultado autónomo, interactivo y paramétrico del proceso mismo” (Roncoroni, 2015, p. 25). El diseño generativo permite que el programa genere componentes individuales, así como la forma general del sistema. Como sostiene Navarro,

en la mayoría de los casos, los resultados se obtienen a partir de un esquema inicial, que define la parte fija del resultado, y una serie de variables, que permiten generar soluciones diferentes entre sí. La parte variable puede construirse a partir de números o valores los cuales el usuario puede cambiar o modificar con facilidad o a partir de cambios de algoritmos dentro del mismo esquema. (2016, p. 17)

Se puede integrar ambos métodos de manera iterativa, a través de redes generativas antagonicas, para explorar nuevas opciones de diseño, generando así una gran cantidad de opciones a partir de un número limitado de datos de diseño previos (Oh et al, 2019). La fabricación aditiva es especialmente adecuada para emplear estas nuevas maneras de diseñar que producen modelos geométricos digitales complejos que son difíciles o imposibles de producir mediante tecnologías de fabricación convencionales (Wu, Qian, Wang, 2019).

Otras ventajas del diseño para fabricación aditiva se encuentran en el prototipado rápido. Los modelos obtenidos a través del prototipado rápido son más fieles a la realidad, lo que se ve reflejado en la minimización de errores y la optimización del diseño. “los softwares y hardwares actuales del diseño y la fabricación digital plantean un debate en torno a los límites de la disciplina, debido a que reemplazan un proceso secuencial por otro simultáneo” (Bevilacqua, 2020). Esta forma de modelado facilita las mejoras sobre la marcha y la personalización o fabricación por encargo en la que los productos se fabrican a medida para satisfacer las necesidades y preferencias del cliente. Con estas acciones se puede reducir el desperdicio y prevenir la sobreproducción. Los clientes que estén satisfechos con los productos volverán al fabricante para extender la vida útil de los productos y mantener sus características preferidas. Así, la lealtad del cliente hacia el fabricante está incorporada. Por otra parte, un diseño que pretende lograr una vida útil más larga para el producto considera la necesidad de desmontar productos para su reparación, y reacondicionamiento. En el mismo sentido, el diseño para la modularidad concibe productos compuestos por módulos funcionales para que estos puedan actualizarse con nuevas características o funcionalidades. Los módulos se pueden reparar o reemplazar individualmente, lo que aumenta la longevidad del núcleo del producto. Finalmente es necesario que el diseño considere el desmontaje para el reciclado cuando ya no sea posible extender la vida útil del producto.

Reducción

Luego de la etapa de diseño, las consideraciones ambientales se enfocan en la reducción. Esto es la fabricación y el uso de productos que implican reducción en el empleo de materiales y eliminación del uso de sustancias nocivas. El primer concepto a considerar en este punto es el de ecoeficiencia.

La ecoeficiencia fue definida originalmente en 1992 por el World Business Council for Sustainable Development, antes de la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro. El WBCSD establece que la ecoeficiencia se alcanza mediante la entrega de bienes y servicios a precios competitivos que satisfacen las necesidades humanas y brindan calidad de vida, al tiempo que reducen progresivamente los impactos ecológicos y la intensidad de los recursos. La ecoeficiencia se clasifica de acuerdo con la reducción de materiales, energía y toxicidad en bienes y servicios y el aumento en el uso de recursos renovables, la durabilidad y la intensidad de servicio del producto (Sing y Kok-Soo, 2010, p. 852).

Otro concepto a considerar es el de aligerar que puede referirse a reducir la cantidad de material utilizado para fabricar un producto o al intercambio de materiales utilizados tradicionalmente por materiales más livianos, o a la optimización de una pieza, de una parte, o de todo el sistema con una combinación de estas prácticas.

Entre las ventajas de aligerar un producto encontramos el ahorro de materiales, la eficiencia en el uso de combustibles, una menor huella ecológica y mejoras en el rendimiento gracias a estructuras reticulares que favorecen la absorción de impactos.

En la industria del transporte la reducción de masa es una de las estrategias más importantes para reducir las emisiones de los vehículos y el consumo de combustible. Las tecnologías de gestión térmica, híbrida, de transmisión y de motor están diseñadas para reducir las pérdidas de energía y aumentar la eficiencia. Por el contrario, la reducción de peso reduce la cantidad de energía necesaria para mover el vehículo, independientemente de la eficiencia del sistema de propulsión. (International Council On Clean Transportation, 2017)

Por otra parte, están las estrategias para transportar menos producto terminado y no tener stock en exceso. La manera tradicional de fabricar, almacenar y embarcar productos ha sido una fuente de dificultades y consumo de tiempo tanto para proveedores como para consumidores. Mantener inventarios de piezas que se piden con poca frecuencia es tan costoso que los proveedores a menudo simplemente dejan de ofrecerlas. Eso, a su vez, obliga a los clientes a almacenar grandes inventarios de piezas o recurrir a otros fabricantes (Geissbauer, Wunderlin y Lehr, 2017). La impresión 3D ha cambiado las reglas del juego. Los proveedores pueden fabricar piezas bajo demanda, inclusive hacerlo localmente. Fabricar cerca del lugar de consumo trae consigo un menor consumo de energía y hacerlo bajo demanda requiere menos zonas de almacenamiento.

En la actualidad, muchos estudios comparan aspectos importantes como el consumo de energía y materiales, pero dejan de lado el hecho de que ciertas emisiones de CO₂, causadas por las largas rutas de transporte, entre otras cosas, ni siquiera se producen cuando se utiliza la impresión 3D. (Marchante, 2021).

En el mismo sentido, la fabricación de piezas de repuesto necesarias para todas las actividades de extensión de la vida útil de los productos como reparar, restaurar o remanufacturar se pueden hacer bajo demanda y cerca del lugar de consumo. Alternativamente, las empresas pueden optar por imprimir sus propias piezas, evitando por completo a los proveedores y reduciendo aún más la necesidad de transporte. Esto se logra en parte gracias a la comercialización de archivos de piezas modeladas en 3D.

Otros aportes de la fabricación aditiva a la economía circular se dan mediante el desarrollo de materiales innovadores con mayor índice de reciclabilidad, gracias a los cabezales de procesamiento de pellets se aumenta la gama de materiales. Además, al emplear materiales reciclados que no han sufrido un proceso de transformación de pellets a filamento, se conservan intactas sus propiedades. La redacción de Interempresas (2022) sostiene que, la extrusión directa de partículas sueltas procedentes de recuperación de plásticos en vez del filamento, como ocurre con los equipos convencionales de fabricación aditiva mediante extrusión, permite el uso de granza procedente de la inyección de plásticos, que es el formato de material más extendido en la industria del plástico.

Por otra parte, la impresión 3D SLS cuenta con una ventaja clave. Una vez que finaliza el proceso de fabricación, las piezas están rodeadas de polvo no sinterizado, que a su vez actúa como soporte de las piezas impresas. En la tecnología SLS se puede reutilizar hasta un 70% de ese polvo no sinterizado, y utilizarlo nuevamente en futuras impresiones. Desde el punto de vista sostenible y de reciclabilidad, esto es una ventaja importante sobre

el método FDM, ya que los materiales de soporte que se imprimen no se convertirán de nuevo en filamento para su reutilización.

Finalmente, habrá productos que deban ser empacados y transportados. Los empaques entonces deben también ser optimizados. El diseño optimizado de empaques significa usar la cantidad correcta de materiales para garantizar que el producto esté protegido, evitando al mismo tiempo sobreempacar innecesariamente.

Conclusión

En conclusión, un diseño optimizado implica que ha seleccionado el material ideal, el proceso de fabricación correcto y el medio de transporte adecuado, con el fin de minimizar los impactos ambientales y promover la experiencia del consumidor. El consumidor a su vez deberá estar adecuadamente informado. Sin embargo, hay que tener cuidado en el uso de ecoetiquetas para evitar la frustración provocada por un exceso de información que el consumidor no entiende correctamente y la ausencia de otro tipo de información que le gustaría entender fácilmente.

Por otra parte, la impresión 3D también tiene cierto impacto en el medio ambiente y elevados requisitos energéticos. A pesar de esto, se emplea menos energía y se reducen considerablemente los costos frente a métodos tradicionales de fabricación apalancados en economías de escala.

Finalmente, y a pesar de las objeciones contra los plásticos, la impresión 3D presenta un balance ambiental positivo si se lo compara con la industria tradicional. En el mismo sentido, el diseño para fabricación aditiva contribuye a una mayor circularidad de la economía.

Referencias

- Andersen, M. S. (2007) 'An introductory note on the environmental economics of the circular economy', *Sustainability Science*, vol. 2, no. 1, pp. 133–140.
- Bevilacqua, F. (2020). La operación de diseño y fabricación digital a la luz de la teoría de la individuación, [Tesis de Doctorado en Diseño Universidad de Palermo]. Cuaderno 113 | Centro de Estudios en Diseño y Comunicación (2020/2021). pp 181-375 ISSN 1668-0227
- Casas, A. (2018). Análisis de diferentes procesos industriales sobre el ecodiseño de un producto. Universidad de Zaragoza.
- Celani, G. (2008). Enseñando diseño generativo: una experiencia didáctica. https://architektur-informatik.scix.net/pdfs/sigradi2008_202.content.04763.pdf
- Ellen MacArthur Foundation (2012) *Towards the circular economy: Economic business rationale for an accelerated transition*.
- Geissbauer, R., Wunderlin, J. y Lehr, J. (2017). The future of spare parts is 3D. A look at the challenges and opportunities of 3D printing. PwC. www.strategyand.pwc.com
- Ghisellini, P., Cialani, C. and Ulgiati, S. (2016) 'A review on circular economy: The expected

- transition to a balanced interplay of environmental and economic systems', *Journal of Cleaner Production*, vol. 114, pp. 11–32.
- Greyson, J. (2007) 'An economic instrument for zero waste, economic growth and sustainability', *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, 13-14, pp. 1382–1390.
- Heshmati, A. (2015) A Review of the Circular Economy and its Implementation, IZA Discussion Paper No. 9611.
- International Council On Clean Transportation. (2017). Lightweighting Technology Developments. Technical Brief No. 6 | March 2017. www.theicct.org/series/us-passenger-vehicle-technology-trends.
- Kirchherr, J. & Piscicelli, L. (2019). Towards an Education for the Circular Economy (ECE): Five Teaching Principles and a Case Study. *Resources Conservation and Recycling*, vol. 150.
- Marchante, A. *La importancia de la sostenibilidad en la fabricación aditiva*. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/importancia-sostenibilidad-fabricacion-aditiva-261120212>
- Meza, C., Tamayo, F. y Franco, E. (2014). *Optimización topológica aplicada al diseño de componentes estructurales mecánicos de peso reducido*. *El Hombre y la Máquina* No. 44 Enero - Junio de 2014.
- MPCEIP y GIZ. (2021) Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador. Quito, Ecuador.
- Murray, A., Skene, K. and Haynes, K. (2017) 'The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context', *Journal of Business Ethics*, vol. 140, no. 3, pp. 369–380.
- Navarro, P. (2016). Diseño de una bicicleta polivalente mediante diseño generativo. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/75454>
- Oh, S., Jung, Y., Kim, S., Lee, I., and Kang, N. (September 16, 2019). "Deep Generative Design: Integration of Topology Optimization and Generative Models." *ASME. J. Mech. Des.* November 2019; 141(11): 111405. <https://doi.org/10.1115/1.4044229>
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., Hanemaaijer, A., (2017). *Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain*.
- Redacción Interempresas. (2022, marzo). La economía circular en la fabricación aditiva: valoración de plásticos. Impresión 3D. <https://www.interempresas.net/Fabricacion-aditiva/Articulos/382201-La-economia-circular-en-la-fabricacion-aditiva-valoracion-de-plasticos.html>
- Roncoroni, U. (2015). *Manual de diseño generativo*. Lima: Universidad de Lima. Fondo Editorial.
- Sing, I. y Kok-Soo, T. (2010). *Eco-Efficient Product Design Using Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) Principles*. *American Journal of Applied Sciences* 7 (6).
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y. and Yu, X. (2013) 'A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation', *Journal of Cleaner Production*, vol. 42, pp. 215–227.
- Torres de la Torre, C. (2020). *Economía Circular*. Economía Circular. Recuperado 14 de marzo de 2022, de <https://economiecircular.info>
- Van der Ryn, S. y Cowan, S. (2007). *Ecological design / 10th anniversary ed*. Island Press.
- Wautelet, T. (2018). *The Concept of Circular Economy: its Origins and its Evolution*.
- Wu, J., Qian, X. y Wang, M. Y. (2019). *Advances in Generative Design*. CAD Special Issue generative design.

Abstract: This research analyzes the contribution of ecodesign both in reducing the carbon footprint and in dematerializing the economy within the framework of the prevention and reduction phases of the circular economy. The part of the research that gives rise to this article seeks to investigate whether companies that adopt a circular business model based on ecodesign reduce their ecological footprint. It demonstrates the existence of relationships between the decisions made at the design stage of a product and the level of energy consumption and supplies during the manufacturing, distribution and use stages of the products, as well as the reduction of waste at the end of its life. Useful life. There is also a relationship between the design and the time the materials remain in use. Additionally, the role of additive manufacturing in promoting the circularization of the economy is described. A relationship is found between generative design and topological optimization as strategies to optimize design and lower ecological footprint. It is concluded that, despite the objections against plastics, 3D printing presents a positive environmental balance when compared to the traditional industry based on economies of scale. In the same sense, the design for additive manufacturing contributes to a greater circularity of the economy.

Keywords: Ecodesign - additive manufacturing - 3D printing - circular economy - generative design - topological optimization - generative adversarial networks

Resumo: Esta investigação analisa o contributo do ecodesign tanto na redução da pegada de carbono como na desmaterialização da economia no quadro das fases de prevenção e redução da economia circular. A parte da investigação que dá origem a este artigo procura investigar se as empresas que adotam um modelo de negócio circular baseado no ecodesign reduzem a sua pegada ecológica. Se demuestra la existencia de relaciones entre las decisiones tomadas en la etapa de diseño de un producto y el nivel de consumo de energía y suministros durante las etapas de fabricación, distribución y uso de los productos, así como la reducción de desechos al final de su vida útil. Há também uma relação entre o design e o tempo que os materiais permanecem em uso. Além disso, é descrito o papel da manufatura aditiva na promoção da circularização da economia. Uma relação é encontrada entre o design generativo e a otimização topológica como estratégias para otimizar o design e reduzir a pegada ecológica. Conclui-se que, apesar das objeções contra os plásticos, a impressão 3D apresenta um balanço ambiental positivo quando comparada à indústria tradicional baseada em economias de escala. No mesmo sentido, o design para manufatura aditiva contribui para uma maior circularidade da economia.

Palavras chave: Ecodesign - manufatura aditiva - impressão 3D - economia circular - design generativo - otimização topológica - redes generativas antagônicas

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo]
