

Nota: Esta traducción ha sido elaborada por un programa de traducción automática y está destinada a dar una idea somera del contenido del artículo original, por lo que no se garantiza la exactitud de la traducción. Use el navegador para imprimir esta traducción, mandarla por correo electrónico o grabarla.

Traducido por  Microsoft

Título: Restorative and regenerative: Exploring the concepts in the circular economy. De: Morseletto, Piero, Journal of Industrial Ecology, 10881980, Aug2020, Vol. 24, Fascículo 4

Base de datos: Academic Search Premier

Restaurador y **regenerativo**: Explorando los conceptos de la economía circular

La definición más reconocida de la economía circular es que es un sistema restaurativo y **regenerativo** economía. A pesar del amplio uso y la importancia atribuida a los conceptos de "restauración" y "regeneración", rara vez se definen o explican en la literatura sobre economía circular. En este contexto, este estudio examina críticamente los dos términos, al tiempo que proporciona orientación sobre su utilización y desarrollo futuros. En concreto, el estudio investiga el origen de los conceptos, su adopción en marcos que anticiparon la idea de economía circular y sus connotaciones en la literatura sobre economía circular. El examen respalda la necesidad de definiciones claras y distintas, combinadas con precisión en el uso. A partir de una revisión de la literatura, la restauración es un concepto mejor definido que la regeneración, aunque necesita un refuerzo conceptual en relación con los aspectos biológicos/ecológicos de la economía circular. Este estudio sugiere mirar en la dirección de la ecología de la restauración, una rama bien establecida de la investigación ecológica. Por el contrario, la regeneración es un término simbólico/evocador con poca aplicación práctica en el contexto de los sistemas circulares, excepto en el caso de ciertas prácticas agrícolas. Hasta que no intervengan nuevos desarrollos conceptuales, la regeneración no parece ser aplicable a la economía en su conjunto y, por ello, podría ser abandonada como principio rector de la economía circular. A diferencia de la regeneración, la restauración puede considerarse un principio básico porque tiene una aplicación generalizada y puede ser un punto de referencia para aplicaciones circulares. Esto no excluye la posibilidad de que se necesiten otros conceptos para aumentar la restauración.

Palabras clave: ciclos biológicos y técnicos; economía circular; principios rectores de la economía circular; ecología industrial; restaurativa y **regenerativo** Conceptos

INTRODUCCIÓN

En 2012, la Fundación Ellen MacArthur (EMF, por sus siglas en inglés) introdujo el concepto de economía circular (EC) como "una economía industrial que es restaurativa o **regenerativo** por intención y diseño" (EMF, 7), y más tarde como "restaurador y **regenerativo** por diseño y objetivos" (EMF, , 2). Desde entonces, la definición de la CE como restauradora y **regenerativo** ha llegado a ser de uso común, o al menos ha reverberado miles de veces en la literatura académica y no académica. Esta definición es, con mucho, la más empleada en los estudios de CE (Kirchherr, Reike y Hekkert). Para dar una idea de esto, hasta finales de 2019, Google Scholar cuenta con más de 700 entradas para la combinación de "economía circular" y "restaurativa y restaurativa". **regenerativo**" y casi 400 para "economía circular" y "economía restaurativa o **regenerativo**." La mayoría de las citas son textuales de fuentes de campos electromagnéticos, aunque algunos autores proporcionan una versión modificada o ligeramente ampliada de la definición de campos electromagnéticos (por ejemplo, Bressanelli, Perona y Sacconi, ; Geissdoerfer, Savaget, Bocken y Hultink; Heyes, Sharmina, Mendoza, Gallego-Schmid y Azapagic, (véase también Korhonen, Nuur, Feldmann y Birkie). En particular, numerosos investigadores subrayan que los conceptos de "restauración" y "regeneración" son principios centrales de una CE (Jawahir y Bradley, ; Korhonen y cols., ; Lieder y Rashid, ; Murray, Skene y Haynes; Reike, Vermeulen y Witjes). En el artículo, los sustantivos "restauración" y "regeneración" se utilizan para describir los conceptos, mientras que los adjetivos "restaurador" y "**regenerativo**" se usan como modificadores que atribuyen atributos a cosas específicas, por ejemplo, "agricultura restaurativa".

A pesar del amplio uso y la importancia atribuida a la "restauración" y la "regeneración", los conceptos rara vez se definen o explican en la literatura sobre la EC. En cambio, los términos están sujetos a una serie de matices e interpretaciones. Este estudio analiza las diferentes connotaciones en la literatura, a la vez que investiga críticamente ambos conceptos. Con este propósito, el estudio responde a algunas preguntas generales: ¿Cuáles son las interpretaciones actuales de "restauración" y "regeneración"? ¿Es posible tener definiciones útiles y mutuamente excluyentes? Y, ¿son estos conceptos necesarios además de aplicables para definir una economía circular?

Descripciones de un CE como restaurador y **regenerativo** puede inducir a error a los lectores sin un conocimiento profundo de los conceptos subyacentes de restauración y regeneración. Comprender el significado de estos términos es esencial para describir la realidad actual y un estado futuro que aborde los problemas identificados del momento (Berger y Luckmann, ; Newell y Simon,). Por lo tanto, la comprensión de lo que se considera conceptos fundamentales de EC es esencial para la elaboración de soluciones sólidas y coherentes de EC por parte de profesionales y académicos. Esta aclaración también puede ser útil en otras áreas de investigación como la ecología industrial, el Green New Deal y el metabolismo urbano, donde estos conceptos aparecen repetidamente.

RAÍCES Y HUESOS DE RESTAURACIÓN Y REGENERACIÓN

Estas dos palabras han viajado a través de los siglos y de múltiples idiomas; ambos tienen su origen en el latín. El prefijo (latín) "re" indica repetición. La restauración es de *(re)staurare*, lo que significa reparar/devolver/reconstruir de nuevo. La regeneración es a partir de *generar*, que significa dar a luz/generar. Restaurativo se usa comúnmente para describir aspectos relacionados con los individuos; Se emplea en disciplinas sociales como la atención médica (por ejemplo, la medicina restaurativa), la educación (por ejemplo, las prácticas escolares restaurativas) y la filosofía (por ejemplo, la justicia restaurativa) para expresar formas de reparación de uno mismo o de la persona. Por el contrario, **regenerativo** se emplea con frecuencia en ciencias, como la ecología, la biología y la medicina, para indicar una autorrenovación funcional o, más a menudo, un reemplazo morfogénico de partes o estructuras perdidas o dañadas en organismos o ecosistemas.

La restauración y la regeneración también se asocian con ideas y marcos que han influido o fluido en la proposición de la CE (ver Craft, Ding, Prasad, Partridge, & Else, ; EMF; Geisendorf y Pietrulla, ; Ghisellini, Cialani y Ulgiati; Pane Haden, Oyler y Humphreys; Jawahir y Bradley, ; Lieder y Rashid, ; Torres y Parini, ; Yudelson,). Estas ideas y marcos incluyen: **regenerativo** agricultura, economía restaurativa, **regenerativo** desarrollo y diseño, diseño ambiental restaurativo, **regenerativo** y Cradle to Cradle.

Regenerativo La agricultura, llamada así (y promovida desde finales de la década de 1970) por el agricultor y editor Rodale (en inglés), es un concepto que describe el mantenimiento y la mejora de los recursos a través de la renovación orgánica continua del complejo sistema vivo (véase Dahlberg). Más tarde, Rodale aplicó el principio de renovación continua a un marco que llamó "**regenerativo** desarrollo económico" (Mang y Reed, véase también Medard, Pahl, Shegda y Rodale).

El ecologista y empresario Hawken utilizó el término economía restaurativa para describir una economía que combina actividades empresariales con prácticas ambientales (restaurativas). Hawken (58) argumentó que "restaurar es volver a hacer algo bien", lo que debe ser aplicado por la economía a los ecosistemas. Esta idea también fue empleada por el empresario Anderson, quien transformó su empresa (Interface, un prominente fabricante de losetas de moqueta) en una empresa restauradora que se describe a sí misma (ver Anderson, ; Pane Haden et al.,).

Regenerativo desarrollo y diseño, promovido por el arquitecto Lyle (), refleja su caso a favor de una convergencia de disciplinas que incluyen la arquitectura, la ecología del paisaje, la planificación del uso de la tierra, la permacultura y la **regenerativo** agricultura (ver Mang & Reed,). Según Lyle (10), "para ser sostenibles, los sistemas de suministro de energía y materiales deben renovarse continuamente, o **regenerativo**, en su funcionamiento". Lyle () estableció el marco, los principios y las estrategias para revertir el daño ambiental, conceptualizando **regenerativo** diseño y flujos circulares como sustituto de los sistemas lineales.

El trabajo de Lyle inspiró ideas adicionales relacionadas con los conceptos de restauración y regeneración. Los defensores del diseño ambiental restaurativo (p. ej., Kellert, ; Reed,) proponen devolver los sitios degradados o dañados a un estado de salud aceptable del ecosistema a través

de la intervención humana. Otros promueven **regenerativo** edificio (p. ej., **Liderazgo** en Energía y Diseño Ambiental [LEED]), que pretende ser un enfoque holístico para la construcción de asentamientos humanos (y casi todas las demás actividades humanas). Estos ejemplos reflejan el diseño intencional de sistemas humanos que son capaces de co-evolucionar con sistemas naturales (Mang & Reed, ; Reed,), y mejorar la salud y la vitalidad de un lugar geográficamente específico (antrópico o natural) a lo largo del tiempo (Yudelson,).

El último marco considerado aquí es Cradle to Cradle, que tiene como objetivo diseñar productos y procesos de fabricación donde los flujos de materiales sean seguros, restauradores, **regenerativo** basado en ciclos de bucle cerrado. Este concepto deriva de los trabajos del arquitecto Stahel, el químico Braungart y el experto en medio ambiente Engelfried, y fue formalizado por Braungart y el arquitecto McDonough (ver Braungart & Engelfried, ; Braungart & McDonough, ; McDonough y Braungart, ; Stahel,). Aquí, como resumen Hofstra y Huisinigh (, 464), **regenerativo** significa "restaurar, renovar, revitalizar y asegurar el renacimiento [...] fuentes de energía y materiales teniendo en cuenta las necesidades, deseos y deseos futuros de la sociedad y la naturaleza".

Estas ideas y marcos no siempre definen una distinción clara entre restauración y regeneración. A grandes rasgos, la restauración se centra en revertir el daño causado por la intervención humana que requiere volver a una condición de origen no especificada. Los defensores de la visión restaurativa demuestran un enfoque práctico para la resolución de problemas y analizan casos específicos del dominio económico, por ejemplo, la fertilidad/productividad, la reparación, la remanufactura, la gestión de residuos y los ciclos de producción.

La regeneración representa una forma de mejora de la restauración. Si restauración significa "hacer algo bien de nuevo", regeneración, para algunos autores, significa "hacerlo mejor" que una (supuesta) condición de origen. Los defensores de los enfoques de regeneración en la década de 1990 tendían a centrarse en una visión que puede haber reflejado una visión optimista del cambio social que prevalecía durante ese período (véase Ferguson, ; Park, Conca y Dedo). Mang y Reed (8862) señalaron que hay "una tendencia a difuminar o confundir **regenerativo** con la gama de otros sistemas de diseño que surgieron en la búsqueda de la sostenibilidad ecológica en la década de 1990". La multiplicidad de definiciones del concepto de "regeneración" se hizo eco de la cacofonía de marcos que rodean la idea (ver Mang y Reed).

RESTAURACIÓN Y REGENERACIÓN EN CICLOS TÉCNICOS Y BIOLÓGICOS

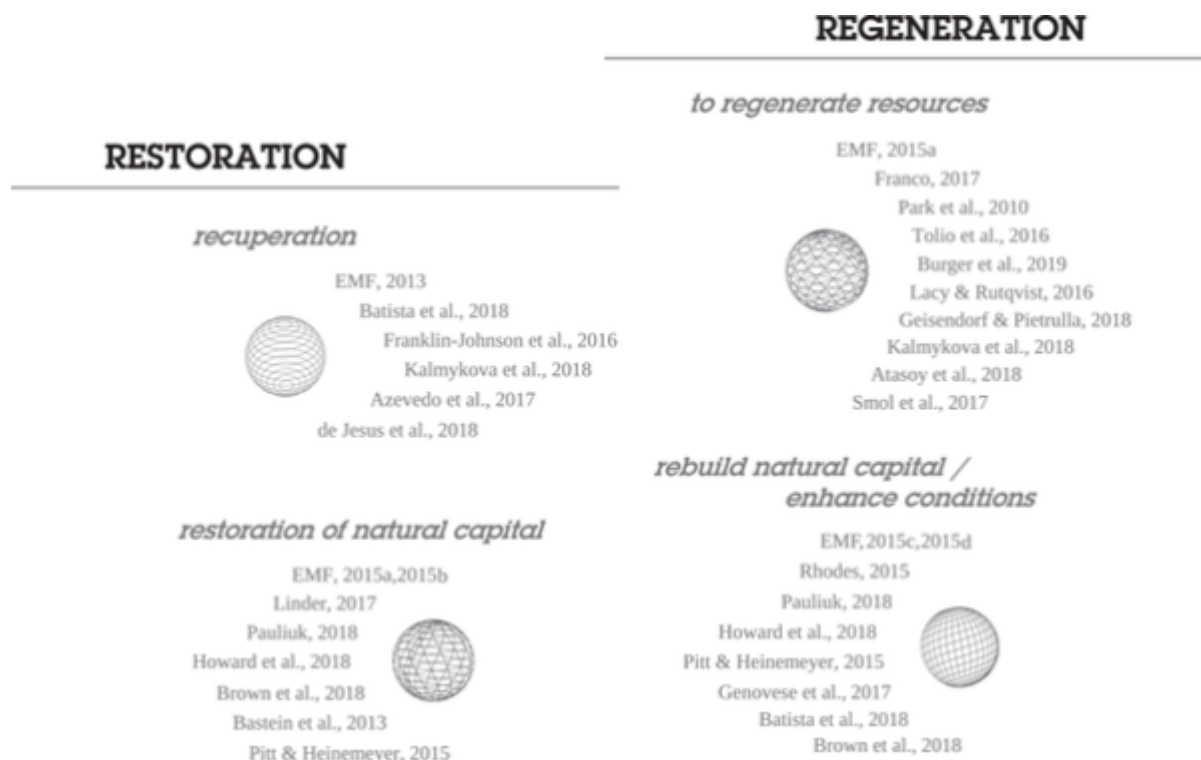
Concurrente con la definición de CE como restaurativa y **regenerativo** es la distinción que hace EMF (extraída de la literatura Cradle to Cradle) entre el ciclo de materiales que son predominantes en la tecnosfera y aquellos materiales que son predominantes en la biosfera (Braungart y McDonough, ; Braungart, McDonough y Bollinger; McDonough y Braungart). Además, EMF articula una estructura de ciclo dual para una economía circular (, 7) donde: "El ciclo técnico implica la gestión de existencias de materiales finitos... Los materiales técnicos se recuperan y en su mayoría se restauran en el ciclo técnico.... El ciclo biológico engloba los flujos de materiales renovables.... Los nutrientes renovables (biológicos) se regeneran principalmente en el ciclo biológico". Muchos

investigadores de CE siguen a los campos electromagnéticos en el uso de ciclos separados para materiales técnicos y biológicos (nutrientes en el lenguaje Cradle to Cradle).

A partir de las descripciones de los campos electromagnéticos, parecería que el concepto de restauración es particularmente aplicable al ciclo técnico y el concepto de regeneración se limita al ciclo biológico. Sin embargo, en otros documentos de la EMF y en otras partes de la literatura de CE, los **regenerativo** se consideran pertenecientes a ambos ciclos. Este artículo utiliza esta doble estructura técnico-biológica para evaluar las posibles definiciones de restauración y regeneración y la utilidad de los conceptos en una CE.

Restauración y regeneración en la literatura de CE

Para evaluar el uso de los conceptos de restauración y regeneración en la literatura de EC, en 2018 se recopilaron datos de la literatura académica y no académica a partir de las publicaciones de EMF mediante la búsqueda en las bases de datos Google Scholar y Scopus de "economía circular", "restauración", "regeneración", "restauración", "**regenerativo**", y variantes como "restaurar" y "regenerar". Además de las definiciones de los campos electromagnéticos, las búsquedas identificaron una variedad de usos y significados asociados con los conceptos de restauración y regeneración. Estos se resumen en la Figura .



Usos y significados clave asociados con la restauración y la regeneración en la literatura

A partir de la búsqueda bibliográfica, solo dos documentos proporcionaron definiciones simultáneas de **regenerativo**. En primer lugar, en una discusión sobre la sostenibilidad, Brown y sus colegas (8) se refirieron a la restauración como "restaurar los sistemas sociales y ecológicos a un estado saludable", y **regenerativo** como "permitir que los sistemas sociales y ecológicos mantengan un estado saludable y evolucionen". Ambos conceptos se relacionan con un "estado saludable", que se

deja como una condición deseada indefinida para alcanzar o retener. Para ser útil, el "estado saludable" necesita parámetros que sean cuantificables y estén sujetos a evaluación. En segundo lugar, Batista y sus colegas (, 439) ofrecieron las siguientes definiciones: "restaurar (impartir nueva vida y vigor, promover la recuperación) y regenerar (recuperar a un nuevo estado, generalmente mejorado) materiales", agregando que "ambos conceptos implican la 'recuperación' o recuperación de materiales para su uso posterior". En el mismo párrafo, los autores aclaran que "para simplificar utilizaremos la terminología 'restaurativa' para referirnos también a la '**regenerativo**' capacidades de las organizaciones y las operaciones relacionadas con la cadena de suministro". Si bien esto sugiere que Batista et al. consideran que el concepto de restauración encarna el concepto de regeneración, este uso parece enturbiar sus definiciones. Este es particularmente el caso cuando se utiliza la expresión "impartir nueva vida" en la definición de restauración; dada la etimología; La expresión se relaciona más con la regeneración que con la restauración. Además, aplican ambos conceptos de manera amplia cuando se habla de materiales, productos, organizaciones y redes de organizaciones sin hacer distinciones en el significado y el uso.

La restauración en la literatura de EC se asocia principalmente con la necesidad de restaurar el capital natural (por ejemplo, Bastein, Roelofs, Rietveld y Hoogendoorn, ; CEM, ,b; Howard, Hopkinson y Miemczyk; Linder; Pauliuk, ; Pitt & Heinemeyer,. La noción de capital natural fue popularizada por Hawken y sus colegas para incluir los recursos naturales utilizados por la humanidad y la totalidad de los sistemas vivos. La naturaleza se identifica como una reserva de capital que hay que mantener y no como un recurso que hay que saquear (Pitt y Heinemeyer). En ese contexto, la economía debe ser restauradora y la restauración se produce a través de la reconstrucción del capital natural.

Un vínculo con el papel de la regeneración en una EC se remonta a Pearce y Turner (), los creadores del término "economía circular". Propusieron la transformación del paradigma lineal "recursos-productos-contaminación" en un sistema circular de "recursos-productos-recursos regenerados" (Jawahir y Bradley). En el contexto específico de una EC, la regeneración tiene múltiples interpretaciones. Uno es un concepto que da forma a la sociedad y a las economías; EMF (, 30) afirma: "todos los sistemas, desde la agricultura en adelante, podrían ser orquestados en un **regenerativo** manera". Esto es compartido por Webster (, 546), para quien la EC tiene como objetivo "regenerar el capital humano, social, natural y económico". En esta línea, Ghisellini y sus colegas (12) subrayan que la regeneración es "una mejora de todo el modelo vital y económico en comparación con la economía y la gestión de recursos de la situación actual". Estas interpretaciones presentan la regeneración como un principio general/inspirador, pero no proporcionan una explicación exhaustiva del concepto.

Las siguientes secciones exploran más profundamente el posible uso y las implicaciones de los conceptos de restauración y regeneración en el contexto de las estructuras cíclicas técnicas y biológicas duales articuladas por los campos electromagnéticos.

Restauración y regeneración en ciclos técnicos

Una característica central de un CE es la sustitución del concepto de "fin de vida útil" por el de restauración en lugar de destrucción" (7), en el que los productos y materiales no se destruyen, sino que permanecen dentro de los sistemas de producción (Batista, Bourlakis, Smart y Maull, ; Franklin-Johnson, Figge y Canning; PNUMA) en la medida en que lo permitan la viabilidad económica y técnica. El EMF desarrolló un indicador de circularidad de materiales (MCI) para rastrear los flujos de restauración de productos y medir los flujos generales de una empresa (véase también Elia, Gnani, & Tornese). Este enfoque es coherente con el significado etimológico de restauración, específicamente, "reconstruir".

Una amplia gama de procesos y estrategias que caracterizan los ciclos técnicos en un CE (ver Potting, Hekkert, Worrell y Hanemaaijer, ; Reike et al.,) son consistentes con el concepto de restauración (ver Tabla).

Restauración en procesos/estrategias de CE (estudios principales)

	CEM (Azevedo y cols.)	de Jesús y cols.)	Batista et al.)	Kalmykova et al.)
Reutilización	•	•	•	•
Reparar			•	•
Renovación		•		
Restauración	•		•	
Remanufacture			•	
Mantenimiento				•
Mejora				•
Reciclaje		•	•	
Cascada	•		•	

La reutilización, la reparación, la renovación, el reacondicionamiento, la remanufactura, el mantenimiento y la actualización son estrategias de extensión de la vida útil de los productos (Morsetto,). A excepción de la reutilización (en la que un producto sin cambios pasa de un usuario a otro), los productos vuelven a la economía después de modificaciones. Los productos se restauran: a) a un estado como nuevo, como en la renovación y remanufactura (ver de Jesús, Antunes, Santos y Mendonça, ; Jawahir y Bradley, ; Lieder y Rashid); b) a un estado de funcionamiento anterior, como en la reparación y el mantenimiento (Mobley, ; Murray et al.,); o c) a un estado mejorado/actualizado, como en la remodelación y actualización (Azevedo, Godina y Matías, ; Cooper y Gutowski). Las actividades de restauración pueden utilizar materiales desechados y de segunda mano o partes y componentes recuperados, prolongando así la vida útil de estos recursos.

De manera similar, la cascada y el reciclaje son actividades en las que los materiales se pueden reutilizar varias veces en diferentes productos. Todas estas estrategias requieren cadenas de suministro restaurativas que apoyen uno o ambos ciclos de circuito cerrado (es decir, la logística y el procesamiento del traslado de materiales, componentes y productos no deseados desde una parte de la cadena de valor general hasta un punto apropiado en la cadena de suministro original para el

sistema de productos) y ciclos de circuito abierto (es decir, la logística y el procesamiento del movimiento de materiales no deseados, componentes y productos a organizaciones que están fuera de la cadena de suministro original para diferentes tipos de usos) (ver Batista et al., ; Geyer, Kuczenski, Zink y Henderson). La restauración puede ocurrir tanto en circuitos abiertos como cerrados si los materiales, componentes y productos tienen suficiente valor para permanecer en el sistema económico general. Sin embargo, los beneficios e impactos ambientales pueden variar en soluciones de circuito abierto o cerrado (ver Geyer et al., para una discusión exhaustiva).

A diferencia de la restauración, pocos estudios se refieren a la regeneración de productos y materiales (por ejemplo, Kalmykova, Sadagopan y Rosado). En lenguaje común, un producto (por ejemplo, una impresora o un horno) se regenera cuando las piezas nuevas sustituyen a las viejas o defectuosas, como en el reacondicionamiento, la remanufactura y la actualización (véase, por ejemplo, Tolio et al.). En el caso de la rehabilitación y la refabricación, el uso de regeneración para describir estas actividades es sinónimo de restauración. Actualizar, implica mejora y, por lo tanto, el término regeneración puede ser más aplicable; Sin embargo, es más probable que las operaciones de mejora sean formas de restauración de acuerdo, por ejemplo, con requisitos más estrictos de los usuarios o de la legislación.

La regeneración también es aplicable para indicar la transformación de un material no deseado en un nuevo material útil. Por ejemplo, Park y sus colegas argumentan que los residuos pueden regenerarse en materiales útiles (ilustran un parque eco-industrial donde se recuperan materiales y componentes de aparatos electrónicos usados). Otro ejemplo es la recuperación de botellas de plástico, que luego pueden procesarse mecánicamente para generar materias primas para nuevos productos en los que no se necesita material de grado virgen (por ejemplo, sillas de plástico), o deconstruirse químicamente en sustancias precursoras para polimerizarlas en polímeros equivalentes vírgenes adecuados para cualquier aplicación. En la actualidad, estas operaciones se consideran típicamente recicladas (ver Rahimi y García). Del mismo modo, las llamadas fibras de nailon regeneradas empleadas en las industrias de alfombras, textiles y redes de pesca (por ejemplo, Franco) han sido sometidas a un sofisticado proceso de reciclaje. Incluso el aceite usado "regenerado" en aceite nuevo a través de la refinación (Rincón, Cañizares, García y Gracia), o la resina agotada, en una resina "regenerada" (Atasoy, Owusu-Agyeman, Plaza y Cetecioglu), son formas de reciclaje. En ambos ejemplos, los procesos de separación se utilizan para recuperar sustancias con propiedades específicas que son suficientes para crear versiones recicladas del producto original.

Más recientemente, la regeneración se ha asociado con edificios, áreas espaciales y ciudades en estudios de EC (por ejemplo, Domenech, Bleischwitz, Doranova, Panayotopoulos y Roman). Los términos se refieren a nuevas formas físicas o usos de estructuras o a la mejora de la riqueza o la conectividad dentro de una ubicación geográfica definida. La terminología se originó en la planificación urbana y los estudios arquitectónicos y sociales más que en un contexto de EC (ver Atkinson y Kintrea, ; Carley,) y hasta la fecha se ha utilizado principalmente para describir la recuperación y reutilización de materiales de construcción (hormigón, asfalto, etc.).

Siguiendo a Pearce y Turner (), los investigadores de la comunidad de CE vinculan la regeneración y los recursos, ya sea como energía o materiales (por ejemplo, EMF, ; Geisendorf y Pietrulla, ; Kalmykova et al., ; Smol, Kulczycka y Avdiushchenko), ya sea por la escasez de recursos (Lieder y Rashid), o por una necesidad general de eficiencia en el uso de los recursos (Burger, Stavropoulos, Ramkumar, Dufourmont y van Oort, de Jesus et al.). Existe un acuerdo general de que la energía en una CE proviene de fuentes renovables (por ejemplo, la luz solar, el viento, la energía hidroeléctrica, la biomasa y la geotermia), que Lacy y Rutqvist () etiquetan **regenerativo** energía sin proporcionar una justificación de la terminología o las condiciones en las que estas fuentes podrían considerarse **regenerativo**. Rammelt y Crisps (27) introdujeron una distinción entre recursos renovables vivos y no vivos: "las energías renovables no vivas (luz solar, viento o ríos) se regeneran a través de una entrada constante que sigue rellenando las reservas de recursos. Las energías renovables vivas se regeneran a través de la retroalimentación de refuerzo: más peces significa más reproducción y, por lo tanto, más peces, por ejemplo". Aunque invita a la reflexión, la distinción entre recursos renovables vivos y no vivos es incompleta, ya que no aborda recursos como los bosques y los acuíferos de agua dulce, donde la tasa de uso puede exceder con creces la tasa de regeneración y dar lugar a un agotamiento irrecuperable, ni explica los mecanismos de regeneración. Por otra parte, incluso si los recursos cumplieran los criterios para ser regenerados, no está claro cómo el uso de dichos recursos daría lugar a la EC que es en sí misma **regenerativo**.

Restauración y regeneración en ciclos biológicos

Los conceptos de restauración y regeneración son aparentemente apropiados para los ciclos biológicos en una CE. La restauración, en el sentido de devolver el pleno funcionamiento a los ecosistemas degradados, y la regeneración, como un esfuerzo por mantener y mejorar las condiciones actuales, tienen sentido cuando el capital natural requiere un refuerzo constante. La pregunta clave es cómo los materiales biológicos ingresan a la economía y luego regresan a la biosfera de una manera que sea restauradora o **regenerativo**.

Los defensores de la noción de capital natural responden a esta pregunta previendo dos vías principales para la restauración. Una vía es la de los materiales orgánicos/biológicos que salen de forma segura de los productos y procesos de producción a la biosfera. Esta interpretación se hace eco de la idea del concepto Cradle-to-Cradle de un metabolismo biológico en el que los nutrientes biológicos (McDonough y Braungart), que pueden originarse en ecosistemas (por ejemplo, bosques o el medio ambiente marino) o en sistemas industrializados (por ejemplo, agricultura, maricultura, etc.), se convierten en "residuos saludables" (Braungart et al.,) que pueden ser devueltos a su fuente. De acuerdo con el EMF (, 2), "los materiales no tóxicos se colocan en cascada y finalmente se devuelven al suelo, restaurando así el capital natural". La cascada es el uso posterior de un material biológico en múltiples aplicaciones para extraer valor adicional del recurso (Mair & Stern), antes de que se convierta en un "residuo saludable". De acuerdo con este punto de vista, los materiales biológicos (por ejemplo, restos de alimentos, fibras naturales, biordesechos de la producción) que han cumplido su propósito pueden transformarse en compost y suelo (EMF, ; Kalmykova et al.,) y ser devueltos a los ecosistemas o, más probablemente, a los sistemas industriales. Esto se basa en la suposición de que los materiales biológicos pueden biodegradarse de forma segura y volver al suelo para alimentar los procesos ambientales.

Otra vía para restaurar el capital natural a través de los ciclos biológicos se expresa en términos de "revertir el daño" (por ejemplo, Brown et al., ; Pitt & Heinemeyer), es decir, el daño al medio ambiente causado por las actividades económicas. Los estudiosos de la EC no se han centrado en cómo se cuantifica dicho daño, cómo se revierte y si se revierte total o parcialmente a través de una EC. Es más fácil identificar ejemplos de reversión del daño en la economía lineal donde la remediación es obligatoria por regulación o se lleva a cabo voluntariamente (por ejemplo, la restauración de características hidrológicas alteradas, el restablecimiento de hábitats destruidos, la eliminación de contaminantes tóxicos y la reintroducción de especies de nicho: Nugent, Packard, Brabon y Vierra).

La búsqueda de ambas vías de restauración del capital natural se enfrenta a desafíos prácticos. Los materiales biológicos no necesariamente (o inmediatamente) se transforman en compost o suelo sano (Kononova,). Además, el compost y la producción de nuevos suelos no es un tema significativo en la literatura de EC (Haas, Krausmann, Wiedenhofer y Heinz), lo que sugiere que están lejos de realizarse a gran escala. En este sentido, el precio del compost tiende a ser bajo, los costos pueden variar considerablemente (según los costos de transporte, las tecnologías empleadas), mientras que calcular el valor del compost es difícil en términos ecológicos y económicos (ver Meyer-Kohlstock, Hädrich, Bidlingmaier y Kraft). Del mismo modo, la creación de suelos saludables requiere una logística de entrada (a los sitios de procesamiento) y una logística de salida (a los sitios de destino) sólidas y bien desarrolladas. Además, no está claro quién debe asumir los costos de la creación del suelo o cómo comercializar el suelo recién hecho.

Más allá de esto, existe un riesgo potencialmente significativo en el retorno de material biológico a la biosfera. La introducción de grandes cantidades de materia biológica "usada" puede tener grandes efectos (tanto esperados como impredecibles) en los ecosistemas. Por ejemplo, la introducción excesiva de nutrientes en los cuerpos de agua puede causar eutrofización donde el hipercrecimiento de las plantas acuáticas consume oxígeno de tal manera que afecta a los organismos circundantes (ver Llorach-Massana, Farreny, & Oliver-Sola, ; Reijnders,). Del mismo modo, los aportes masivos de sustancias pueden colapsar la capacidad de un ecosistema para asimilarlas (Llorach-Massana et al.,). Los supuestos sobre la "reversión del daño" pueden ser demasiado simplistas para abordar la estructura sofisticada y la intensa red de interacciones de los ecosistemas a gran escala (véase, por ejemplo, Palmeri, Barausse y Jorgensen). Para ser eficaz, el concepto de restauración de los daños requeriría un conocimiento detallado de un ecosistema antes de que se produjera el daño especificado, así como el estado deseado de un ecosistema restaurado, ninguno de los cuales es fácil de determinar.

La regeneración en el ciclo biológico no se distingue fácilmente de la restauración. En el caso de los CEM (), la regeneración en el ciclo biológico se deriva del marco Cradle-to-Cradle (Braungart et al.), donde los nutrientes biológicos regeneran el ecosistema (Homrich, Galvao, Abadia y Carvalho). Esto es coherente con los puntos de vista que asocian la regeneración con la reconstrucción y la mejora del capital natural (EMF, d; Genovese, Acquaye, Figueroa y Koh; Howard et al.), pero este enfoque

no es suficiente para comprender el significado práctico de la regeneración, especialmente en cuanto a cómo puede diferir de la restauración.

En línea con la "salud de los ecosistemas", otros autores (e.g., Pauliuk, ; Pitt y Heinemeyer, ; Rhodes) interpretan la regeneración como la creación de mejores condiciones para apoyar las cualidades de mejora de la vida de los ecosistemas. Sin embargo, "mejores condiciones" es una expresión ambigua que no presenta una línea de base (es decir, un estado detallado en un momento anterior) y una medición de las mejoras con respecto a esa línea de base. Rhodes menciona que las condiciones mejoradas abarcan la creación de hábitat (incluido el suelo de construcción), la purificación del agua y la mejora de los procesos de fijación de nitrógeno y carbono en el suelo, etc. El autor también añade que es posible crear **regenerativo** sistemas mediante la conexión entre sí de sistemas más pequeños **regenerativo** unidades. Una vez más, hay algunas similitudes con la restauración, en particular, con la propuesta de "revertir el daño". Además, existe una actitud proactiva hacia una relación más avanzada con la naturaleza. Esto es común a otros conceptos (véase du Plessis), como el diseño ecológico (que busca la integración con los procesos de la naturaleza, van der Ryn y Cowan), la ingeniería ecológica (la construcción de infraestructuras biológicas, Mitsch) y el desarrollo positivo (que promueve ir más allá de la compensación ecológica, Birkeland y Knight-Lenihan). Sin embargo, incluso si estos marcos proporcionan aplicaciones prácticas, no aclaran cómo se distingue la regeneración de la restauración.

Hay algunas advertencias para entender que la regeneración es el mantenimiento de la salud de la naturaleza y los ecosistemas. Múltiples perturbaciones diversas en un ecosistema (Walker) pueden exceder la capacidad de las especies adaptadas a las perturbaciones para volver a un "estado saludable" (DellaSala y Hanson). La regeneración puede tardar varios años o incluso décadas (por ejemplo, Biringer y Hansen) y seguir diferentes trayectorias y velocidades (Holz y Placci).

Por el contrario, la agricultura parece ser un campo adecuado para aplicar el concepto de regeneración en relación con el ciclo biológico. El CEM (,) aboga por **regenerativo** prácticas agrícolas como las técnicas de labranza cero y la sustitución de insumos sintéticos. Por ejemplo, los fertilizantes a base de combustibles fósiles pueden eliminarse mediante el cultivo de pastizales de leguminosas y el uso de estiércol de cría de animales como fertilizante. Del mismo modo, otros estudios proponen **regenerativo** prácticas agrícolas como parte integral de una CE (Pascucci y Duncan, ; Torres y Parini, ; Unay-Gailhard y Bojnec,). Estos se basan en la **regenerativo** ideas de Rodale () y Pretty () para minimizar los insumos de energía y materiales, mientras se reciclan insumos como agua, nutrientes y materia orgánica (Pearson, ; Toensmeier,).

ANÁLISIS Y UN PASO ADELANTE SUGERIDO

Restaurador y **regenerativo** se han utilizado para describir un aspecto metafórico de la circularidad. Restaurative evoca un circuito de uso, reutilización y reparación sin fin. **Regenerativo** habla de una especie de ciclo de vida que mantiene y mejora las condiciones de funcionalidad del ecosistema. Estos términos pueden ser útiles para avanzar en el concepto de una EC, pero también pueden dar

lugar a que el concepto se vuelva borroso y malinterpretado, como ocurre cuando los conceptos se conectan a una red de significados culturales (véase Keulartz, ; Larson; Morseletto,).

En la actualidad, en la comunidad de la CE no existen definiciones consensuadas de ambos conceptos, lo que lleva a los investigadores a invocar sus propias interpretaciones, amplificando así la amplitud de cada término. Si los conceptos van a tener algún valor para la comunidad de EC, es necesario llegar a definiciones compartidas de restauración y regeneración en el contexto de una EC.

Restauración

Propongo la convergencia a una definición simple de restauración: el retorno a un estado anterior u original. Esta es una definición sencilla que respeta la etimología y está en línea con la mayoría de las interpretaciones en la literatura de EC.

La definición se puede aplicar fácilmente a la tecnosfera, donde es posible restaurar varios materiales a un estado anterior (por ejemplo, vidrio reciclado o polímeros, con propiedades casi idénticas o similares). Esto sucede incluso con las impurezas, la contaminación, las dificultades técnicas de recuperación y los límites en el número de veces que se pueden reciclar algunos materiales (ver Allwood et al., ; Blichert-Toft, ; Haupt, Vadenbo, Zeltner y Hellweg). Del mismo modo, es posible restaurar los productos a una condición de funcionamiento / mejorada (por ejemplo, reparar o actualizar un objeto). Como se señaló anteriormente, el reciclaje, la cascada, la reparación, la renovación, el reacondicionamiento, la remanufactura, el mantenimiento y la mejora son las principales estrategias/técnicas para restaurar y mantener el uso productivo de los materiales y productos en la economía. Dentro de la tecnosfera, los elementos biológicos pueden emplearse de manera similar a los materiales no biológicos y diseñarse para ser recuperados, reciclados y utilizados para fines adicionales. Por ejemplo, la madera utilizada en la construcción podría recuperarse de edificios renovados o demolidos y reciclarse en diferentes productos. De manera similar, los subproductos de la producción de alimentos podrían usarse para fabricar polímeros que se recuperan después de su uso para reciclarlos y convertirlos en polímeros utilizables (ver Mair & Stern, ; Sakai et al.,).

En la ecosfera, la restauración es menos sencilla. La reintroducción de elementos biológicos que han entrado en el comercio de nuevo en un ecosistema requiere métodos, protocolos y procedimientos precisos que aborden cuestiones variadas como la compatibilidad, la toxicidad (Chemat, Vian y Cravotto, ; Lehmann & Kleber,), recuperación y reciclaje de nutrientes (Tadesse, Oenema, van Beek, & Ocho, ; Withers, Doody y Sylvester-Bradley) y la complejidad de las estructuras y funciones de los ecosistemas (Palmer, Zedler y Falk; Palmeri et al.,) junto con una serie de otras cuestiones. En este sentido, la ecología de la restauración (ER) puede ser un complemento útil para el desarrollo de un constructo de EC. Las energías renovables se han convertido en una rama bien establecida de la ecología que tiene como objetivo recuperar ecosistemas degradados, dañados o destruidos (SER, por sus siglas en inglés) a través de un conjunto de herramientas desarrolladas dentro de la disciplina para acelerar la recuperación de ecosistemas dañados (ver Hobbs, ; Perring et al., ; Rohr, Bernhardt, Cadotte y Clements). Si bien

hay mucho debate sobre cuestiones éticas y filosóficas en la restauración (ver Clewell y Aronson, ; Hertog & Turnhout, ; Keulartz, ; Wortley, Hero y Howes), también hay mucha experiencia práctica en la restauración de ecosistemas para informar aspectos de una EC (ver Hobbs, ; Holl & Aide, ; Rohr et al.). En estos términos, los académicos y profesionales de la EC y la ER deben trabajar juntos para definir protocolos, directrices y procedimientos restaurativos en relación con las actividades de EC en la ecosfera. Esto requeriría facilitar una mayor actividad de colaboración entre las comunidades de EC y ER, posiblemente promoviendo una agenda de investigación coevolutiva (ver Kallis y Norgaard, ; Norgaard,). En la actualidad, la comunidad de energías renovables está involucrada en una discusión sobre los estándares para la práctica de la restauración, según la definición de la Sociedad para la Restauración Ecológica (Gann et al., ; Hobbs; McDonald, Gann, Jonson y Dixon). Esta podría ser una oportunidad para avanzar en el concepto y la práctica de la restauración en la CE, especialmente teniendo en cuenta que el debate sobre las normas CE aún está en pañales (Tecchio, McAlister, Mathieux y Ardente).

Regeneración

La regeneración en el contexto de una CE no se diferencia fácilmente de la restauración. Propongo una definición de regeneración como la promoción de la capacidad de autorrenovación de los sistemas naturales con el objetivo de reactivar los procesos ecológicos dañados o sobreexplotados por la acción humana. Esta definición, que connota un renacimiento o reinicio, no encaja fácilmente con los ciclos técnicos, donde la restauración puede ser más adecuada (por ejemplo, abordar los impactos de los procesos de minería y extracción para acceder a metales e inorgánicos). La regeneración, como en la definición propuesta, puede ser más útil en la agricultura, donde se desarrolló como un campo de investigación y soluciones prácticas (Pretty, ; Rodale,). Incluso si se utiliza dentro de la CE para abordar los ciclos biológicos, **regenerativo** La agricultura se superpone con otros marcos agrícolas, incluidos los orgánicos, biodinámicos, de bajos insumos, de conservación de recursos, la permacultura y la agroecología (ver Bonito). Pearson () señaló que **regenerativo** es una palabra pegadiza, mientras que otras terminologías pueden ser engorrosas y es poco probable que atraigan el apoyo del público. Cuando las prácticas agrícolas promueven la fertilidad, el ciclo de nutrientes o los servicios ecológicos, apoyan la **regenerativo** capacidad de la naturaleza (véase, por ejemplo, Holl y Aide, ; Perrow y Davy, ; Villamagna, Angermeier y Bennett). Esta capacidad, aunque discutible, puede definirse como la capacidad de la naturaleza para revivirse a sí misma, recuperarse de las perturbaciones y reconstruir sus funciones.

La pregunta sigue siendo si la regeneración es o no un principio central de una EC si se limita a un solo sector de la economía, incluso uno tan importante como la agricultura. En ausencia de un consenso en torno a una definición única de regeneración que sea distinta de la restauración y una explicación sólida de cómo se aplicaría ampliamente en una CE, sugiero que la regeneración no se considere un principio primario de una CE. La restauración, debido a que tiene una aplicación generalizada en un CE, puede ser un punto de referencia y un principio rector para las soluciones CE. Esto no excluye la posibilidad de que se necesiten otros conceptos para aumentar la restauración.

La investigación futura debe explorar cómo especificar mejor, mejorar o complementar los principios rectores de un CE, ya que estos son el punto de referencia constante para inspirar y orientar las

acciones del marco. Como enunciados teóricos centrales de una proposición, los principios rectores deben estar claramente definidos, ser coherentes y completos. En un mundo dominado por las palabras de moda y los significados disonantes, la claridad en el lenguaje y las definiciones coherentes de los términos (no solo en el discurso de la ecología industrial y la sostenibilidad) son imprescindibles para evitar interpretaciones erróneas, al tiempo que se facilita la implementación efectiva de marcos como el de la CE.

RECONOCIMIENTOS

El artículo mejoró notablemente gracias a los comentarios de los revisores anónimos. Los errores restantes son míos. Un agradecimiento muy especial al Dr. Michael Brown, que ha sido el mejor editor posible. Su precisión, competencia y contribución son algo único en la industria. También agradezco al profesor Reid Lifset por sus adiciones y sugerencias, que junto con las contribuciones del Dr. Brown llevaron el texto a un nivel diferente.

CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses

Notas

[1](#) *Revisión del editor: Michael Brown*

REFERENCIAS

Allwood, J. M., Cullen, J. M., Carruth, M. A., Cooper, D. R., McBrien, M., Milford, R. L., & Patel, A. C. (2012). *Materiales sostenibles: Con los ojos abiertos*. (p. 384). Cambridge, Reino Unido: UIT Cambridge.

[2](#) Anderson, R. (2004). *Sostenibilidad de la montura de escalada*. *Progreso de la calidad*, 37 (2), 32.

[3](#) Atasoy, M., Owusu-Agyeman, I., Plaza, E., & Cetecioglu, Z. (2018). *Producción y recuperación de ácidos grasos volátiles de base biológica a partir de flujos de residuos: estado actual y desafíos futuros*. *Tecnología de Recursos Biológicos*, 268, 773 – 786.

[4](#) Atkinson, R., & Kintrea, K. (2002). *Efectos sobre el territorio: ¿Qué significan para la política británica de vivienda y regeneración?* *Revista Europea de Política de Vivienda*, 2 (2), 147 – 166.

[5](#) Azevedo, S. G., Godina, R., & Matias, J. C. D. O. (2017). *Propuesta de un índice circular sostenible para empresas manufactureras*. *Recursos*, 6 (4), 63.

[6](#) Bastein, T., Roelofs, E., Rietveld, E., & Hoogendoorn, A. (2013). *Oportunidades para una economía circular en los Países Bajos*. La Haya: TNO.

[7](#) Batista, L., Bourlakis, M., Smart, P., & Maull, R. (2018). *En busca de un arquetipo de cadena de suministro circular: una revisión de la literatura basada en el análisis de contenido*. *Planificación y*

[8](#) Berger, P. L., & Luckmann, T. (1991). *La construcción social de la realidad: Un tratado de sociología del conocimiento*. Londres: Penguin.

[9](#) Biringer, J., & Hansen, L. J. (2005). *Restauración de paisajes forestales frente al cambio climático*. En S. Mansourian y D. Vallauri (Eds.), *Restauración forestal en paisajes* (pp. 31 – 37). Nueva York: Springer.

Birkeland, J., & Knight-Lenihan, S. (2016). *Compensación de biodiversidad y diseño neto positivo*. *Revista de Diseño Urbano*, 21 (1), 50 – 66.

Blichert-Toft, J. (2017). *Perspectivas geoquímicas*. *Recursos Minerales Mundiales Futuros*, 6, 1.

Braungart, M., & McDonough, W. (1998). *La próxima revolución industrial*. *The Atlantic Monthly*, 282 (4), 82 – 92.

Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2007). *Diseño de la cuna a la cuna creando emisiones saludables e una estrategia para el diseño de productos y sistemas eco-efectivos*. *Revista de Producción Más Limpia*, 15 (13–14), 1337-1348.

Braungart, M., & Engelfried, J. (1992). *Un "sistema de producto inteligente" que sustituya a la "gestión de residuos"*. *Boletín Ambiental Fresenius*, 1 (9), 613 – 619.

Bressanelli, G., Perona, M., & Sacconi, N. (2018). *Desafíos en el rediseño de la cadena de suministro para la economía circular: una revisión de la literatura y un estudio de caso múltiple*. *Revista Internacional de Investigación de la Producción*, 57, 7395 – 7422.

Brown, M., Haselsteiner, E., Apró, D., Kopeva, D., Luca, E., Pulkkinen, K., & Vula Rizvanolli, B. (2018). *Sostenibilidad, restauradora para regenerativo*. COST Action CA16114 RESTORE, Informe del Grupo de Trabajo Uno: Sostenibilidad Restaurativa.

Burger, M., Stavropoulos, S., Ramkumar, S., Dufourmont, J., & van Oort, F. (2019). *La heterogénea base de competencias del empleo en la economía circular*. *Política de Investigación*, 48 (1), 248 – 261.

Carley, M. (1990). *Vivienda y renovación de barrios: el nuevo reto urbano de Gran Bretaña*. Londres: Instituto de Estudios Políticos.

Chemat, F., Vian, M. A., & Cravotto, G. (2012). *Extracción verde de productos naturales: Concepto y principios*. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 13 (7), 8615 – 8627.

Clewell, A. F., & Aronson, J. (2013). *Restauración ecológica: Principios, valores y estructura de una profesión emergente*. Washington, DC : Island Press.

Cooper, D. R., & Gutowski, T. G. (2017). Los impactos ambientales de la reutilización: una revisión. *Revista de Ecología Industrial*, 21 (1), 38 – 56.

Craft, W., Ding, L., Prasad, D., Partridge, L., & Else, D. (2017). Desarrollo de un **regenerativo** Modelo de diseño para reacondicionamientos de edificios. *Procedia Ingeniería*, 180, 658 – 668.

Dahlberg, K. A. (1991). Agricultura sostenible: ¿moda o presagio? *BioScience*, 41 (5), 337 – 340.

de Jesús, A., Antunes, P., Santos, R., & Mendonça, S. (2018). Eco-innovación en la transición hacia una economía circular: una revisión analítica de la literatura. *Revista de Producción Más Limpia*, 172, 2999 – 3018.

DellaSala, D. A., & Hanson, C. T. (2015). Beneficios ecológicos y de biodiversidad de los megaincendios. En D. A. DellaSala y C. T. Hanson (Eds.), *La importancia ecológica de los incendios de gravedad mixta* (pp. 23-54). Nueva York: Elsevier.

Domenech, T., Bleischwitz, R., Doranova, A., Panayotopoulos, D., & Roman, L. (2019). Mapeo del desarrollo de la simbiosis industrial en Europa: Tipologías de redes, características, rendimiento y contribución a la economía circular. *Recursos, Conservación y Reciclaje*, 141, 76 – 98.

Du Plessis, C. (2012). Hacia una **regenerativo** paradigma para el entorno construido. *Investigación e Información sobre la Construcción*, 40 (1), 7 – 22.

Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2017). Medición de las estrategias de economía circular a través de métodos de índices: Un análisis crítico. *Revista de Producción Más Limpia*, 142, 2741 – 2751.

Fundación Ellen MacArthur (EMF). (2013). *Hacia la economía circular: Oportunidades para el sector de bienes de consumo*. Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>

Fundación Ellen MacArthur (EMF). (2015a). *Hacia una economía circular: Justificación empresarial para una transición acelerada*. Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>

Fundación Ellen MacArthur (EMF). (2015b). *Indicadores de circularidad: Un enfoque para medir la circularidad: metodología*. Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>

Fundación Ellen MacArthur (EMF). (2015c). *Crecimiento interno: una visión de la economía circular para una Europa competitiva*. Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>

Fundación Ellen MacArthur (EMF). (2015d). *Delivering the circular economy—A toolkit for policy makers*. Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>

Fundación Ellen MacArthur (EMF). (2019). *Ciudades y economía circular para la alimentación*. Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>

Ferguson, N. (2002). *El nexo del dinero: dinero y poder en el mundo moderno, 1700-2000*. Nueva York: Basic Books.

Franco, M. A. (2017). *Economía circular a nivel micro: una visión dinámica de las luchas y desafíos de los titulares en la industria textil*. *Revista de Producción Más Limpia*, 168, 833 – 845.

Franklin-Johnson, E., Figge, F., & Canning, L. (2016). *La duración de los recursos como indicador de gestión para el desempeño de la economía circular*. *Revista de Producción Más Limpia*, 133, 589 – 598.

Gann, G. D., McDonald, T., Aronson, J., Dixon, K. W., Walder, B., Hallett, J. G., ... Unwin, A. J. (2018). *Los estándares SER: una herramienta globalmente relevante e inclusiva para mejorar la práctica de la restauración: una respuesta a Higgs et al*. *Restoration Ecology*, 26 (3), 426 – 430.

Geisendorf, S., & Pietrulla, F. (2018). *La economía circular y los conceptos de economía circular: un análisis y una redefinición de la literatura*. *Thunderbird International Business Review*, 60 (5), 771 – 782.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). *La economía circular: ¿un nuevo paradigma de sostenibilidad?* *Revista de Producción Más Limpia*, 143, 757 – 768.

Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., & Koh, S. L. (2017). *Gestión sostenible de la cadena de suministro y la transición hacia una economía circular: Evidencia y algunas aplicaciones*. *Omega*, 66, 344 – 357.

Geyer, R., Kuczenski, B., Zink, T., & Henderson, A. (2016). *Conceptos erróneos comunes sobre el reciclaje*. *Revista de Ecología Industrial*, 20 (5), 1010 – 1017.

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). *Una revisión de la economía circular: la transición esperada hacia una interacción equilibrada de los sistemas ambientales y económicos*. *Revista de Producción Más Limpia*, 114, 11 – 32.

Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., & Heinz, M. (2015). *¿Qué tan circular es la economía global?: Una evaluación de los flujos de materiales, la producción de residuos y el reciclaje en la Unión Europea y el mundo en 2005*. *Revista de Ecología Industrial*, 19 (5), 765 – 777.

- Haupt, M., Vadenbo, C., Zeltner, C., & Hellweg, S. (2017). Influencia de la calidad de la chatarra de entrada en el impacto ambiental de la producción de acero secundario. *Revista de Ecología Industrial*, 21 (2), 391 – 401.
- Hawken, P. (1993). *La ecología del comercio: Una declaración de sostenibilidad*. Nueva York: Harper Collins Business.
- Hawken, P., Lovins, A. B., & Lovins, L. H. (1999). *Capitalismo natural: la próxima revolución industrial*. Nueva York: Little Brown.
- Hertog, I. M., & Turnhout, E. (2018). Ideales y pragmatismo en la justificación de la restauración ecológica. *Ecología de la Restauración*, 26 (6), 1221 – 1229.
- Heyes, G., Sharmina, M., Mendoza, J. M. F., Gallego-Schmid, A., & Azapagic, A. (2018). Desarrollo e implementación de modelos de negocio de economía circular en empresas tecnológicas orientadas a servicios. *Revista de Producción Más Limpia*, 177, 621 – 632.
- Hofstra, N., & Huisingh, D. (2014). Caracterización de las eco-innovaciones: Una clasificación taxonómica de las relaciones entre los seres humanos y la naturaleza. *Revista de Producción Más Limpia*, 66, 459 – 468.
- Hobbs, R. J. (2017). ¿Hacia dónde vamos? Desafíos para la restauración y la revegetación en un mundo que cambia rápidamente. *The Rangeland Journal*, 39 (6), 563 – 566.
- Hobbs, R. J. (2018). Bodas de plata de la ecología de la restauración: innovación, debate y creación de un futuro para la ecología de la restauración. *Ecología de la Restauración*, 26 (5), 801 – 805.
- Holl, K. D., & Aide, T. M. (2011). ¿Cuándo y dónde restaurar activamente los ecosistemas?. *Ecología y Gestión Forestal*, 261 (10), 1558 – 1563.
- Holz, S., & Placci, G. (2005). Estimula la regeneración natural. En S. Mansourian y D. Vallauri (Eds.), *Restauración forestal en paisajes: más allá de plantar árboles* (pp. 250-255). Nueva York: Springer.
- Homrich, A. S., Galvao, G., Abadia, L. G., & Carvalho, M. M. (2018). El paraguas de la economía circular: tendencias y brechas en las vías de integración. *Revista de Producción Más Limpia*, 175, 525 – 543.
- Howard, M., Hopkinson, P., & Miemczyk, J. (2018). El **regenerativo** cadena de suministro: Un marco para el desarrollo de indicadores de economía circular. *Revista Internacional de Investigación de la Producción*, 57, 7300 – 7318.

- Jawahir, I. S., & Bradley, R. (2016). Elementos tecnológicos de la economía circular y los principios del flujo de materiales de circuito cerrado basado en las 6R en la fabricación sostenible. *Procedia CIRP*, 40, 103 – 108.
- Kallis, G., & Norgaard, R. B. (2010). Economía ecológica coevolutiva. *Economía Ecológica*, 69 (4), 690 – 699.
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M., & Rosado, L. (2018). Economía circular: desde la revisión de teorías y prácticas hasta el desarrollo de herramientas de implementación. *Recursos, Conservación y Reciclaje*, 135, 190 – 201.
- Keulartz, J. (2007). Uso de metáforas en la restauración de la naturaleza. *Naturaleza y Cultura*, 2 (1), 27-48.
- Keulartz, J. (2012). La emergencia del antropocentrismo ilustrado en la restauración ecológica. *Naturaleza y Cultura*, 7 (1), 48 – 71.
- Kellert, S. R. (2004). Más allá de LEED: Del bajo impacto ambiental al diseño ambiental restaurativo. Ponencia presentada en la Conferencia Greening Rooftops for Sustainable Communities, Portland, Oregón.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualización de la economía circular: Un análisis de 114 definiciones. *Recursos, Conservación y Reciclaje*, 127, 221 – 232.
- Kononova, M. (2013). *Materia orgánica del suelo: Su naturaleza, su papel en la formación del suelo y en la fertilidad del suelo*. Ámsterdam, Países Bajos: Elsevier.
- Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkie, S. E. (2018). La economía circular como concepto esencialmente controvertido. *Revista de Producción Más Limpia*, 175, 544 – 552.
- Lacy, P., & Rutqvist, J. (2016). *Conversión de residuos en riqueza: la ventaja de la economía circular*. Londres: Palgrave Macmillan.
- Larson, B. (2011). *Metáforas de la sostenibilidad ambiental: Redefiniendo nuestra relación con la naturaleza*. New Haven, CT : Yale University Press.
- Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). La naturaleza polémica de la materia orgánica del suelo. *Naturaleza*, 528 (7580), 60 – 68.
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Hacia la implementación de la economía circular: una revisión integral en el contexto de la industria manufacturera. *Revista de Producción Más Limpia*, 115, 36 –

Linder, M. (2017). *Maduros para la disrupción: Reimaginar el papel de la química verde en una economía circular. Cartas y reseñas de química verde*, 10 (4), 428 – 435.

Llorach-Massana, P., Farreny, R., & Oliver-Sola, J. (2015). *¿Son preferibles desde el punto de vista medioambiental los productos certificados Cradle to Cradle? Análisis desde un enfoque de ACV. Revista de Producción Limpia*, 93, 243 – 250.

Lyle, J. T. (1994). **Regenerativo** Diseño para el desarrollo sostenible. Nueva York: John Wiley & Sons.

Mair, C., & Stern, T. (2017). *Utilización en cascada de la madera: ¿una cuestión de economía circular? Current Forestry Reports*, 3 (4), 281 – 295.

Mang, P., & Reed, B. (2012). **Regenerativo** desarrollo **regenerativo** desarrollo y diseño. En R. A. Meyers (Ed.), *Enciclopedia de la ciencia y la tecnología de la sostenibilidad* (pp. 8855 – 8879). Nueva York: Springer.

McDonald, T., Gann, G., Jonson, J., & Dixon, K. (2016). *Normas internacionales para la práctica de la restauración ecológica: incluidos los principios y conceptos clave. Washington, DC : Sociedad para la Restauración Ecológica.*

McDonough, W., & Braungart, M. (2000). *Un mundo de abundancia. Interfaces*, 30 (3), 55 – 65.

McDonough, W., & Braungart, M. (2010). *Cradle to cradle: Rehacer la forma en que hacemos las cosas. Nueva York: North Point Press.*

Medard, G., Pahl, E., Shegda, R., & Rodale, R. (1985). *Regenerando América: Enfrentando el desafío de construir economías locales. Emaús, Pensilvania: Rodale Press.*

Meyer-Kohlstock, D., Hädrich, G., Bidlingmaier, W., & Kraft, E. (2013). *El valor del compostaje en Alemania: economía, ecología y legislación. Gestión de residuos*, 33 (3), 536 – 539.

Mitsch, W. (1993). *La ingeniería ecológica desempeña un papel cooperativo con el sistema de soporte vital planetario. Ciencia y Tecnología Ambiental*, 27 (3), 438 – 445.

Mobley, R. K. (2002). *Una introducción al mantenimiento predictivo. Oxford: Butterworth-Heinemann.*

Morseletto, P. (2017). *Análisis de la influencia de las visualizaciones en la gobernanza ambiental global. Ciencia y Política Ambiental*, 78, 40 – 48.

Morseletto, P. (2020). *Objetivos para una economía circular. Recursos, Conservación y Reciclaje*, 153, 104553. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553>

Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). *La economía circular: Una exploración interdisciplinaria del concepto y su aplicación en un contexto global. Revista de Ética Empresarial*, 140 (3), 369 – 380.

Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Resolución de problemas humanos. Acantilados de Englewood, Nueva Jersey: Prentice-Hall.*

Norgaard, R. B. (2006). *Desarrollo traicionado: El fin del progreso y una revisión co-evolutiva del futuro. Londres: Routledge.*

Nugent, S., Packard, A., Brabon, E., & Vierra, S. (2016). *Viviente regenerativo y edificios adaptativos. Obtenido de <https://www.wbdg.org/resources/living-regenerativo-y-edificios-adaptativos>*

Palmer, M. A., Zedler, J. B., & Falk, D. A. (2016). *Fundamentos de la ecología de la restauración. Washington, DC : Island Press.*

Palmeri, L., Barausse, A., & Jorgensen, S. E. (2013). *Manual de procesos ecológicos. Boca Ratón, FL : CRC Press.*

Pane Haden, S., Humphreys, J. H. y Oyler, J. D. (2009). *Perspectivas históricas, prácticas y teóricas sobre la gestión verde: un análisis exploratorio. Decisión de la Administración*, 47 (7), 1041 – 1055.

Park, J., Conca, K., & Finger, M. (2008). *La muerte del ecologismo carioca. En J. Park, K. Conca y M. Finger (Eds.), La crisis de la gobernanza ambiental global: hacia una nueva economía política de la sostenibilidad (pp. 1-12). Londres: Routledge.*

Pascucci, S., & Duncan, J. (2017). *De las islas piratas a las comunidades de esperanza. En J. Duncan y M. Bailey (Eds.), Sustainable food futures: Multidisciplinary solutions (pp. 186-200). Londres: Routledge.*

Pauliuk, S. (2018). *Valoración crítica de la norma de economía circular BS 8001:2017 y un cuadro de mando de indicadores cuantitativos del sistema para su implantación en las organizaciones. Recursos, Conservación y Reciclaje*, 129, 81 – 92.

Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1990). *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente. Baltimore, MD : The John Hopkins University Press.*

- Pearson, C. J. (2007). **Regenerativo**, sistemas semicerrados: una prioridad para la agricultura del siglo XXI. *BioScience*, 57 (5), 409 – 418.
- Perrow, M. R., & Davy, A. J. (Eds.). (2002). *Manual de restauración ecológica*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Perring, M. P., Standish, R. J., Price, J. N., Craig, M. D., Erickson, T. E., Ruthrof, K. X., ... Hobbs, R. J. (2015). Avances en la ecología de la restauración: A la altura de los retos de las próximas décadas. *Ecosfera*, 6 (8), 1 – 25.
- Pitt, J., & Heinemeyer, C. (2015). Introducción de ideas de economía circular. En K. Stables y K. Steve (Eds.), *Medio ambiente, ética y culturas: la contribución de la educación en diseño y tecnología a los futuros globales sostenibles* (pp. 245 – 260). Rotterdam, Países Bajos: Sense Publishers.
- Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Economía circular: Medición de la innovación en la cadena de productos*. La Haya, Países Bajos: PBL Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos.
- Pretty, J. N. (1995). *Regeneración de la agricultura: políticas y prácticas para la sostenibilidad y la autosuficiencia*. Washington, DC: Joseph Henry Press.
- Rahimi, A., & García, J. M. (2017). Reciclaje químico de residuos plásticos para la producción de nuevos materiales. *Nature Reviews Chemistry*, 1 (6), 0046.
- Rammelt, C., & Crisp, P. (2014). Una perspectiva de sistemas y termodinámica sobre la tecnología en la economía circular. *Real-World Economics Review*, 68, 25-40.
- Reed, B. (2007). Pasar de la "sostenibilidad" a la regeneración. *Investigación e Información sobre la Construcción*, 35 (6), 674 – 680.
- Reijnders, L. (2008). ¿Son buenas o saludables las emisiones o desechos que consisten en nutrientes biológicos? *Revista de Producción Más Limpia*, 16 (10), 1138 – 1141.
- Reike, D., Vermeulen, W. J., & Witjes, S. (2018). La economía circular: ¿nueva o reacondicionada como CE 3.0?—Explorando las controversias en la conceptualización de la economía circular a través de un enfoque en la historia y las opciones de retención del valor de los recursos. *Recursos, Conservación y Reciclaje*, 135, 246 – 264.
- Rodas, C. J. (2015). *Permacultura: Regenerativo—No solo sostenible*. *Progreso de la Ciencia*, 98 (4), 403 – 412.

Rincón, J., Cañizares, P., García, M. T., & Gracia, I. (2003). Regeneración de aceite lubricante usado por extracción de propano. *Investigación en Química Industrial e Ingeniería*, 42 (20), 4867 – 4873.

Rodale, R. (1983). *Abriendo nuevos caminos: La búsqueda de una agricultura sostenible*. *El futurista*, 1 (1), 15 – 20.

Rohr, J., Bernhardt, E., Cadotte, M., & Clements, W. (2018). La ecología y la economía de la restauración: cuándo, qué, dónde y cómo restaurar los ecosistemas. *Ecología y Sociedad*, 23 (2), 15.

Sakai, K., Taniguchi, M., Miura, S., Ohara, H., Matsumoto, T., & Shirai, Y. (2003). Fabricación de plásticos a partir de basura: un proceso novedoso para la producción de polilactato a partir de residuos alimentarios municipales. *Revista de Ecología Industrial*, 7 (3–4), 63–74.

Grupo de Trabajo de la Sociedad para la Ciencia y la Política de la Restauración Ecológica. (2002). *La cartilla de la SER sobre restauración ecológica*. Recuperado de www.ser.org

Smol, M., Kulczycka, J., & Avdiushchenko, A. (2017). Indicadores de economía circular en relación con la eco-innovación en las regiones europeas. *Tecnologías Limpias y Política Ambiental*, 19 (3), 669 – 678.

Stahel, W. R. (2016). La economía circular. *Nature News*, 531 (7595), 435.

Tadesse, S. T., Oenema, O., van Beek, C., & Ocho, F. L. (2018). Asignación y reciclaje de nitrógeno en explotaciones periurbanas mixtas de cultivos y ganadería en Etiopía. *Ciclo de nutrientes en agroecosistemas*, 115, 281 – 294.

Tecchio, P., McAlister, C., Mathieux, F., & Ardente, F. (2017). En busca de estándares que apoyen la circularidad en las políticas de producto: Un enfoque sistemático. *Revista de Producción Limpia*, 168, 1533 – 1546.

Toensmeier, E. (2016). *La solución de la agricultura de carbono: un conjunto de herramientas globales de cultivos perennes y regenerativo prácticas agrícolas para la mitigación del cambio climático y la seguridad alimentaria*. White River Junction, VT : Chelsea Green Publishing.

Tolio, T., Bernard, A., Colledani, M., Kara, S., Seliger, G., Duflou, J., ... Takata, S. (2017). Diseño, gestión y control de sistemas de desmanufactura y remanufactura. *Anales CIRP*, 66 (2), 585-609.

Torres, A. S., & Parini, F. P. (2019). *Economía circular: Perspectiva de los cambios en la dinámica emprendedora*. En C. Carvalho, C. Rego, M. R. Lucas, M. I. Sánchez-Hernández, & A. B. N. Viana (Eds.), *Nuevos caminos de desarrollo empresarial*. Cham, Suiza : Springer.

Unay-Gailhard, Í., & Bojnec, Š (2019). *El impacto de las medidas de economía verde en el empleo rural: Empleos verdes en las explotaciones agrícolas*. *Revista de Producción Limpia*, 208, 541 – 551.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ((2012). *Perspectivas ambientales globales 5 medio ambiente para el futuro que queremos*. Nairobi, Kenya : PNUMA.

Van der Ryn, S., & Cowan, S. (2007). *Diseño ecológico, 10º aniversario*. Washington, DC : Island Press.

Villamagna, A. M., Angermeier, P. L., & Bennett, E. M. (2013). *Capacidad, presión, demanda y flujo: Un marco conceptual para analizar la provisión y prestación de servicios ecosistémicos*. *Complejidad Ecológica*, 15, 114 – 121.

Walker, L. R. (2012). *La biología de los hábitats perturbados*. Oxford: Oxford University Press.

Webster, K. (2013). *¿Qué podríamos decir de la economía circular? Algunas tentaciones a evitar si es posible*. *Futuros Mundiales*, 69 (7–8), 542-554.

Withers, P., Doody, D., & Sylvester-Bradley, R. (2018). *Lograr un uso sostenible del fósforo en los sistemas alimentarios a través de la circularización*. *Sustentabilidad*, 10 (6), 1804.

Wortley, L., Hero, J. M., & Howes, M. (2013). *Evaluación del éxito de la restauración ecológica: una revisión de la literatura*. *Ecología de la Restauración*, 21 (5), 537 – 543.

Yudelson, J. (2010). *La revolución de la construcción ecológica*. Washington, DC : Island Press.

~~~~~

Por Piero Morseletto

Reportado por el autor

---

Los derechos de autor de Journal of Industrial Ecology son propiedad de Wiley-Blackwell y su contenido no puede copiarse ni enviarse por correo electrónico a varios sitios ni publicarse en una lista de distribución sin el permiso expreso por escrito del titular de los derechos de autor. Sin embargo, los usuarios pueden imprimir, descargar o enviar por correo electrónico artículos para uso individual.



