

03-047

MEASUREMENT OF CIRCULARITY IN ORGANIZATIONS: PROPOSAL OF INDICATORS AND CASE STUDY

Ibáñez Forés, Valeria ⁽¹⁾; Bovea, M^a Dolores ⁽¹⁾; Hernández-Górriz, Luisa ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universitat Jaume I

The principles of the circular economy are aimed at ensuring that the value of products, materials and resources is maintained in the economy for as long as possible, and that waste generation is minimized. So far, efforts, both at a normative and scientific level, have mostly been focused on the application of these principles to the field of product design and the design of new business models. However, the way in which organizations can measure their performance in their transition to the principles of circular economy is still a field with broad future projection. In this context, this communication presents a review of proposed indicators for measuring circularity at different levels (product, regional, etc.), and the selection and adaptation of those applicable to the measurement of circularity in organizations. This proposal of indicators will be applied to a case study of an organisation belonging to the ceramic sector, in order to validate them and to analyse how they vary when different Best Available Techniques are implemented.

Keywords: circular economy; indicator; organization; ceramic sector

MEDICIÓN DE LA CIRCULARIDAD EN ORGANIZACIONES: PROPUESTA DE INDICADORES Y CASO PRÁCTICO

Los principios de la economía circular se orientan a conseguir que el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, y a que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Hasta el momento, los esfuerzos, tanto a nivel normativo como científico, se han orientado mayoritariamente hacia la aplicación de estos principios al campo de diseño de productos y al diseño de nuevos modelos de negocio. Sin embargo, la forma en que las organizaciones pueden medir su desempeño en su transición hacia los principios de la economía circular es todavía un campo poco explorado.

En este contexto, esta comunicación presenta una revisión de indicadores de circularidad propuestos a diferentes niveles (producto, regional, etc.), y la selección y adaptación de aquéllos aplicables a la medición de la circularidad de organizaciones. Esta propuesta de indicadores se aplicará a un caso de estudio de una empresa del sector cerámico, con el fin de validarlos y analizar cómo varían al incorporar en ella diferentes Mejores Técnicas Disponibles.

Palabras clave: economía circular; indicador; organización; sector cerámico

Correspondencia: Valeria Ibáñez Forés vibanez@uji.es



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Los principios de la economía circular se orientan a conseguir que el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, reduciendo al mínimo la generación de residuos. Se trata de implementar acciones que permitan pasar de una economía lineal tradicional, a una economía circular (The Ellen McArthur Foundation, 2013).

Con este propósito, la Comisión Europea aprobó en 2015 un Plan de medidas para la economía circular (COM 614, 2015) y un Plan de Medidas de implementación (COM 33, 2017). Las acciones tomadas desde entonces se han enfocado, principalmente, al diseño de productos más circulares y la creación de nuevos modelos de negocio, así como a la propuesta de indicadores que permitan medir la circularidad de productos y materiales (Rodrigues et al., 2016; Smol et al., 2017; Bovea et al., 2018; etc.).

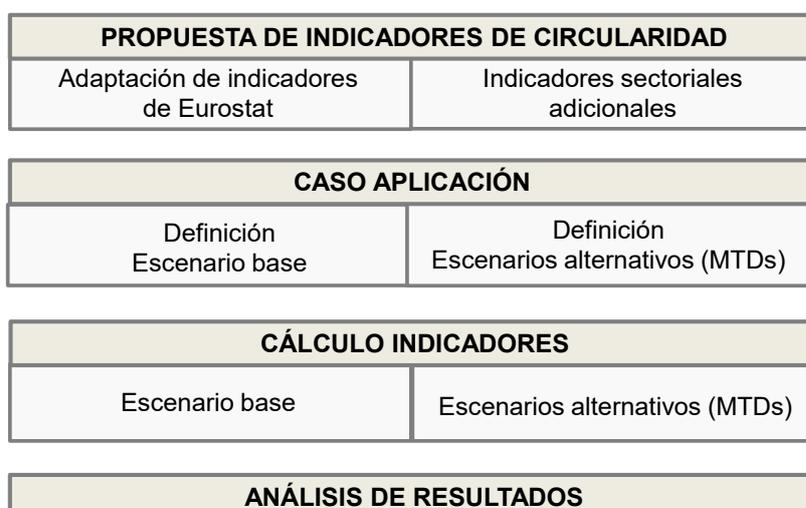
Sin embargo, desde la perspectiva de las organizaciones, también es necesario disponer de un sistema de indicadores capaces de medir su avance hacia un comportamiento circular (Su et al., 2013). Hasta el momento, no se ha desarrollado un sistema de indicadores reconocidos a nivel internacional orientado específicamente a organizaciones. Recientemente, se han publicado conjuntos de indicadores vinculados a la circularidad de regiones y territorios a nivel global (Eurostat, 2019) o a nivel regional (Ihobe, 2018).

En este contexto, el objetivo de este trabajo es hacer una propuesta de indicadores capaces de medir y hacer seguimiento del nivel de circularidad de organizaciones, tomando como referencia indicadores propuestos por Eurostat (2019) para medir la circularidad de regiones y territorios. Esta propuesta de indicadores se hará específica para el caso concreto de una organización perteneciente al sector cerámico, cuantificándose los indicadores para un escenario base y otros escenarios alternativos que incorporen diferentes Mejores Técnicas Disponibles (MTD) (BREF, 2007).

2. Metodología

La propuesta metodológica aplicada en el trabajo aquí presentado se divide en tres bloques diferenciados, tal y como muestra la Figura 1 y se describe a continuación.

Figura 1. Metodología



- **Propuesta de indicadores de circularidad.** Para ello, se realiza una selección y adaptación de los indicadores propuestos por Eurostat (2019), a las empresas del sector cerámico que fabrican pavimento y revestimiento cerámico. Estos indicadores se completan con indicadores que empresas del sector incorporan en sus Memorias de Sostenibilidad.
- **Caso de aplicación.** Presenta un caso de estudio de una empresa dedicada a la fabricación de pavimento y revestimiento cerámico, sobre el que calcular los indicadores propuestos, en base a dos tipos de escenarios:
 - Escenario base, que representa a una empresa promedio del sector analizado.
 - Escenarios alternativos, definidos a partir de la incorporación de diferentes Mejores Técnicas Disponibles (MTD), seleccionadas del documento sectorial BREF (2007), al escenario base.
- **Cálculo de indicadores.** Los indicadores propuestos se calculan para todos los escenarios (base y alternativos).
- **Análisis de resultados.** Se propone un análisis de los resultados basado en identificar los escenarios (MTDs) que mejoran los indicadores de circularidad propuestos. Para facilitar la interpretación de los resultados se propone utilizar el siguiente código de colores:

✓	Mejora el indicador con respecto al Escenario base	X	Empeora el indicador con respecto al Escenario base	-	No afecta
---	--	---	---	---	-----------

3. Propuesta de indicadores de circularidad

A partir del listado de indicadores de economía circular propuesto por Eurostat (2019) para analizar la circularidad de regiones y territorios, se seleccionan aquéllos aplicables a organizaciones y específicamente a empresas del sector cerámico. Para cada uno de ellos, se realiza una propuesta de métrica de cálculo, como muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Propuesta de indicadores: adaptación y métricas

Indicador Eurostat (2019)	Adaptación	Métrica propuesta
PRODUCCIÓN Y CONSUMO		
Autosuficiencia de materias primas en la UE	Autosuficiencia de materias primas (mp) (%)	$\frac{\text{mp. nacionales}}{\text{mp. nacionales} + \text{mp. internacionales}} \cdot 100$
Generación de residuos municipales per cápita	Generación de residuos por m ² de producto final (kg/m ²)	$\frac{\text{Residuos recolectados y gestionados}}{\text{m}^2 \text{ de producto final}}$
Generación de residuos, excluyendo los principales residuos minerales por unidad de PIB	Generación de residuos por unidad de ingresos (kg/miles de €)	$\frac{\text{Residuos recolectados y gestionados}}{\text{Ingresos por ventas}}$

Tabla 1. Propuesta de indicadores: adaptación y métricas (continúa)

Indicador Eurostat (2019)	Adaptación	Métrica propuesta
GESTIÓN DE RESIDUOS		
Tasa de reciclaje de residuos municipales	Tasa de reciclaje de residuos de producción (%)	$\frac{\text{Residuos reciclados, valorizados o donados}}{\text{Total de residuos de producción}} \cdot 100$
Tasa de reciclaje de envases general	Tasa de reciclaje de envases (%) General Plástico Madera	$\frac{\text{Envases reciclados}}{\text{Total de residuos de envases}} \cdot 100$
Tasa de reciclaje de envases de plástico		$\frac{\text{Envases plástico madera reciclados}}{\text{Total de residuos de enva. plástico madera}} \cdot 100$
Tasa de reciclaje de envases de madera		$\frac{\text{eResiduos enviados a plantas de reciclaje}}{\text{Total de eResiduos}} \cdot 100$
Tasa de reciclaje de e-residuos	Tasa de reciclaje de e-residuos (%)	$\frac{\text{Residuos recicl., valorizados o donados}}{\text{Total de residuos de producción}} \cdot 100$
Tasa de recuperación de residuos de construcción y demolición	Tasa de recuperación de residuos de construcción y demolición (%)	$\frac{\text{Envases reciclados}}{\text{Total de residuos de envases}} \cdot 100$ $\frac{\text{Envases plástico/madera reciclados}}{\text{Total de residuos de enva. plástico/madera}} \cdot 100$
MATERIAS PRIMAS SECUNDARIAS		
Tasa de uso circular de material	Tasa de uso circular de material (%)	$\frac{U \text{ (material reciclado)}}{\text{Compra de materias primas} + U} \cdot 100$
Importaciones desde países no pertenecientes a la UE	Compra de materias primas secundarias (t/km)	$\frac{\text{Cantidad de mat. secund. compradas}}{\text{Distancia recorrida}}$
Exportaciones a países no pertenecientes a la UE	Venta de materias primas secundarias (t/km)	$\frac{\text{Cantidad de mat. secund. vendidas}}{\text{Distancia recorrida}}$
Intercambios intra-UE	Comercio entre empresas del sector cerámico (t/km)	$\frac{\text{Compra de mat. secund. a otras empresas}}{\text{Distancia recorrida}}$
COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN		
Inversión bruta en bienes tangibles	Inversión bruta en bienes tangibles (€/miles de m ²)	$\frac{\sum \text{Coste de los bienes tangibles}}{\text{miles de m}^2 \text{ de producto final}}$
Patentes relacionadas con el reciclaje y materias primas secundarias	Patentes sobre reciclaje, materias primas secundarias y medio ambiente	Nº de patentes

Adicionalmente, en base a la revisión de indicadores que empresas del sector comunican en sus Memorias de Sostenibilidad, se propone incorporar tres indicadores de circularidad adicionales a los propuestos en la Tabla 1. Estos indicadores se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Indicadores adicionales propuestos

Indicador adicional propuesto	Métrica propuesta
PRODUCCIÓN Y CONSUMO	
Tasa de utilización de fuentes de energía renovable	$\frac{\text{Energía proveniente de fuentes renovables}}{\text{Energía total necesaria}} \cdot 100$
GESTIÓN DE RESIDUOS	
Tasa de reciclaje de agua	$\frac{\text{m}^3 \text{ de agua reciclada/recirculada}}{\text{m}^3 \text{ de agua total consumida}} \cdot 100$
EMISIONES A LA ATMÓSFERA	
Huella de carbono por m ² de producto final	$\frac{\text{Cantidad de CO}_2 \text{ equivalente emitido}}{\text{m}^2 \text{ de producto final fabricado}}$

Cabe señalar que el indicador de Huella de Carbono, relevante para cuantificar la contribución de la actividad industrial al calentamiento global, requiere realizar un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en el que se cuantifiquen los kg de CO₂ eq. generados durante el proceso de fabricación de baldosas estudiado. Para ello, es necesario cuantificar todos los flujos de entrada y salida de energía y materia al proceso analizado. Dichos datos, que integran el Inventario de Ciclo de Vida (ICV) bajo estudio, deben ser introducidos y modelados en un software de cálculo de ACV (por ejemplo, SimaPro (2019), GaBi (2019), etc.) el cual, mediante la aplicación de un método de caracterización “mid-point”, tal y como especifican las normas ISO 14040 (2006) y 14064-1 (2018), proporciona el valor del indicador de calentamiento global. El método de caracterización utilizado en este estudio es el método CML (Guinée et al., 2002), que incorpora los factores de caracterización propuestos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPPC).

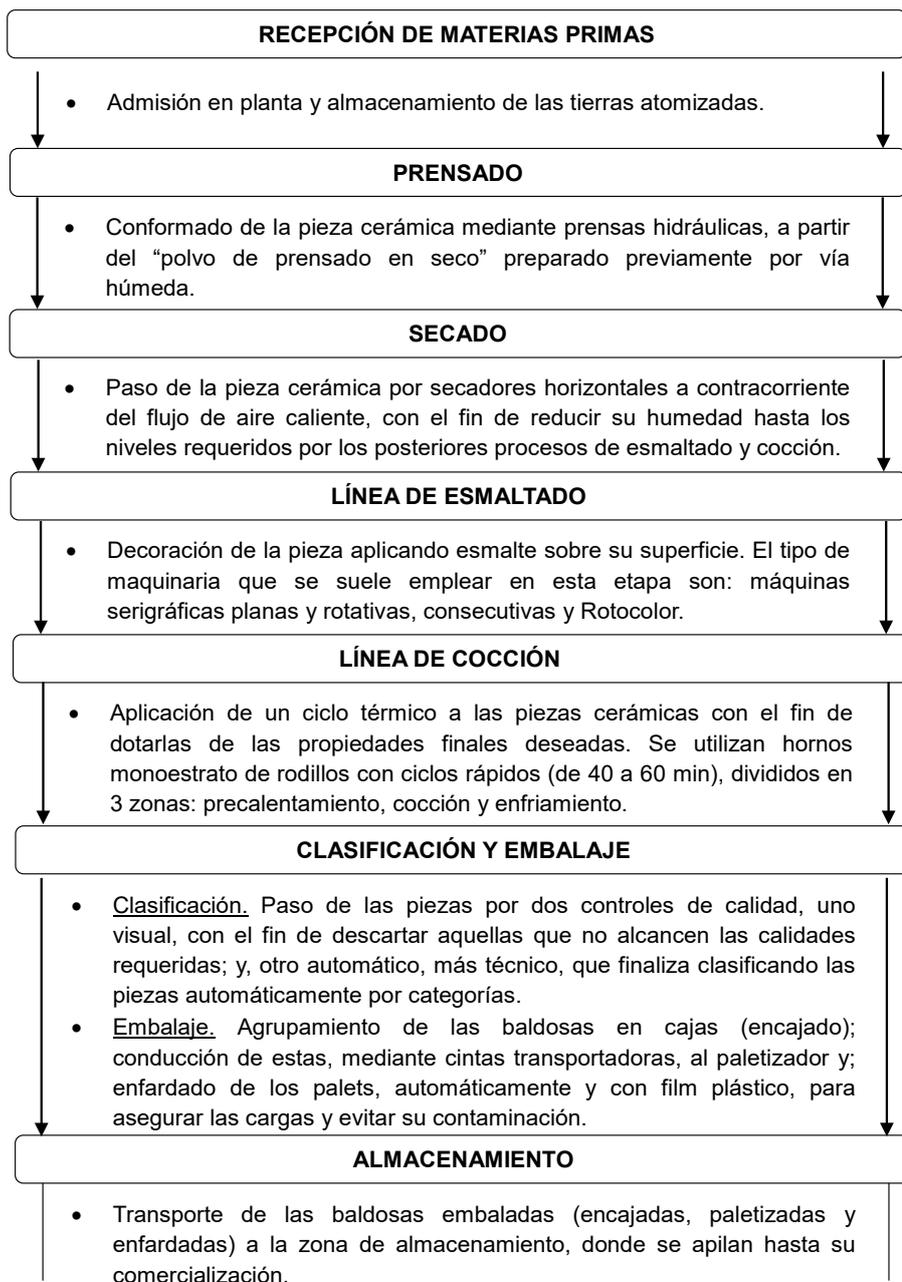
4. Descripción del caso de estudio y escenarios

El caso de estudio desarrollado se basa en el análisis del comportamiento circular de una empresa española media de fabricación de baldosa cerámica. El proceso de fabricación que se analiza es el de monococción, por ser el más común para la fabricación de pavimento y revestimiento cerámico. Los procesos unitarios que integran dicho proceso se resumen en la Figura 2.

De forma paralela a los procesos mencionados, se realizan otros “Procesos auxiliares” que corresponden a: operaciones de mantenimiento, laboratorio y trabajo de las oficinas.

La producción anual considerada tanto para el escenario base, como para los escenarios alternativos, es de 4.880.000 m² de baldosa.

Figura 2. Procesos unitarios de la fabricación de pavimento y revestimiento cerámico por monococción.



4.1 Escenario base

Los datos que caracterizan al escenario base se resumen en la Figura 3, donde aparecen referenciados a la unidad funcional de “1 m² de baldosa cerámica con un peso de 17,23 kg”. Dichos datos incluyen todas las entradas (agua, combustibles, materia prima, electricidad, etc.) y salidas (calor, ruido, residuos, vertidos y emisiones a la atmósfera) de materia y energía generadas en el escenario base.

Estos datos se han obtenido como la media de los datos primarios recogidos de 20 empresas destinadas a la fabricación de baldosas cerámicas, todas ubicadas en la provincia de Castellón, en la costa este de España. El detalle de los datos de inventario utilizados puede consultarse en Ibáñez-Forés et al. (2011).

Figura 3. Datos de inventario del escenario base



4.2 Escenarios alternativos

Para la configuración de los escenarios alternativos, se seleccionan 6 MTDs de entre las contempladas en el documento BREF (2007) específico del sector cerámico. La selección de MTDs trata de abarcar cinco de los aspectos más críticos para el sector: el consumo energético, la emisión de partículas (polvo), la reducción de compuestos gaseosos y, finalmente, la generación de residuos/pérdidas materiales del proceso.

La información necesaria para valorar el impacto tanto positivo como negativo de la incorporación de cada MTD, respectivamente, en los flujos de entrada y salida de materia y energía del escenario base se resume en la Tabla 3. El detalle de dichos datos puede consultarse en Ibáñez-Forés et al. (2013).

Tabla 3. MTDs aplicables en cada escenario alternativo propuesto

Mejora	MTDs	Modificaciones	
		Entradas	Salidas
CONSUMO ENERGÍA	MTD 1: RECUPERACIÓN DEL EXCESO DE CALOR EN HORNOS	∇ Gas natural Δ Electricidad	∇ CO ₂
EMISIONES PARTICULAS	MTD 2: FILTROS DE MANGAS MEJORADOS	∇ Electricidad ∇ Arcilla atomizada.	Δ Residuos especiales (RP) ∇ PST
	MTD 3: PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS	Δ Electricidad ∇ Arcilla atomizada	Δ Residuos especiales (RP) ∇ Filtros (RP) ∇ PST
COMPUESTOS GASEOSOS	MTD 4: ABSORBEDORES DE LECHO TIPO CASCADA CON CaCO ₃	Δ Electricidad	Δ Residuos especiales (RP) ∇ PST ∇ SO _x ∇ HF ∇ HCl
	MTD 5: SISTEMAS DE ADSORBEDORES DE MÓDULO	--	Δ Residuos especiales (RP) Δ Módulos (RP) ∇ PST ∇ NO _x ∇ HF
RESIDUOS	MTD 6: RECICLADO DE LODOS	∇ Agua ∇ Arcilla atomizada	∇ Suspensión acuosa con material Cerámico ∇ Agua residual industrial ∇ Agua reutilizada

En base a la información mostrada en la Tabla 3, se valoran cada uno de los indicadores de circularidad propuestos, definidos en la Tabla 1 y Tabla 2, para los seis escenarios alternativos considerados (MTD1 – MTD6).

5. Cálculo de indicadores y análisis de resultados

A continuación, en la Tabla 4 se presenta cualitativamente el análisis comparativo de las modificaciones que provoca cada escenario alternativo (con su respectiva MTD) sobre cada indicador de circularidad. Es decir, se analiza la influencia que tiene la aplicación de cada MTD sobre los indicadores de circularidad propuestos y calculados para el escenario base, que se toma de referencia.

Tabla 4. Análisis cualitativo de la influencia de las MTD aplicadas individualmente sobre los indicadores de circularidad propuestos

	CONSUMO DE ENERGIA	EMISIONES PARTICULADAS		COMPUESTOS GASEOSOS		RESIDUOS
	MTD1	MTD2	MTD3	MTD4	MTD5	MTD6
PRODUCCIÓN Y CONSUMO						
Autosuficiencia de materias primas nacionales	-	-	-	-	-	-
Generación de residuos por m ² de producto final	-	X	X	X	X	✓
Generación de residuos por unidad de ingresos	-	X	X	X	X	✓
Tasa de utilización de fuentes de energía renovable	✓	✓	X	X	-	-
GESTIÓN DE RESIDUOS						
Tasa de reciclaje de residuos generados en la producción	-	X	X	X	X	✓
Tasa de reciclaje de envases general	-	-	-	-	-	-
Tasa de reciclaje de e-residuos	-	-	-	-	-	-
Tasa de recuperación de residuos de construcción y demolición	-	-	-	-	-	✓
Tasa de reciclaje de agua	-	-	-	-	-	✓
MATERIAS PRIMAS SECUNDARIAS						
Tasa de uso circular de material	-	✓	✓	-	-	✓
Compra de materias primas secundarias	-	-	-	-	-	-
Venta de materias primas secundarias	-	-	-	-	-	-
Comercio entre empresas del sector cerámico	-	-	-	-	-	-
COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN						
Inversión bruta en bienes tangibles	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Patentes relacionadas con el reciclaje, materias primas secundarias y medioambiente	-	-	-	-	-	-
IMPACTO AMBIENTAL						
Huella de carbono por m ² de producto final	✓	-	X	X	-	✓

Tras calcular los indicadores de circularidad de cada escenario alternativo, se observa que más de la mitad de los indicadores propuestos se ven afectados en alguno de los escenarios. Se observa que los escenarios MTD1, MTD2 y MTD3 producen impactos poco significativos en los indicadores propuestos y, que los escenarios MTD4 y MTD5 influyen, principalmente, de manera negativa sobre la circularidad, puesto que aumentan significativamente los residuos generados. Cabe señalar que la MTD que permite mejorar el comportamiento ambiental, sin empeorar para ello ningún indicador de circularidad, es la del escenario MTD6.

La Tabla 4 también muestra que siete indicadores de circularidad no sufren modificaciones en ninguno de los escenarios mejorados, con respecto al escenario base. Estos indicadores están principalmente relacionados con el comercio/origen de las materias primas secundarias; con la gestión de residuos de envases y e-residuos, no contemplados en las MTDs bajo estudio; y, finalmente, con la innovación tecnológica y las patentes en circularidad, no contempladas en las MTDs para el sector cerámico.

6. Conclusiones

Los resultados alcanzados permiten afirmar que la propuesta de indicadores de circularidad presentada es adecuada, ya que abarca diversas temáticas de interés, tanto generales como específicas de la industria cerámica, facilitando obtener información sobre la circularidad que aporta la implementación de diferentes MTDs.

Las métricas propuestas para la cuantificación de cada indicador de circularidad se han basado en información que empresas del sector comunican en documentos de divulgación de información no financiera (Memorias de Sostenibilidad o equivalentes). Esto facilita el cálculo de los indicadores. De ahí que la adaptación de los indicadores a otro sector, requiera de una diagnosis inicial sectorial relativa a este aspecto.

Por otro lado, sería recomendable que, en la próxima actualización del documento sectorial BREF (2007), se incorporen nuevos aspectos relativos a la circularidad del sector, puesto que las políticas ambientales van encaminadas hacia ello. Las actuales MTDs resultan eficaces para mejorar el comportamiento ambiental de las empresas, pero obvian otras acciones que pondrían, a su vez, mejorar de su circularidad (como la gestión de envases y e-residuos o la inversión en proyectos de innovación relacionados con la economía circular).

Agradecimientos

Este estudio se ha realizado gracias a la financiación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (Proyecto DPI2017-89451-R).

7. Referencias

Bovea, M.D., Pérez-Belis, V., 2018. Identifying design guidelines to meet the circular economy principles: A case study on electric and electronic equipment. *Journal of Environmental Management* 228, pp. 483-494.

BREF, 2007. Reference document on Best Available Techniques (BAT) in the ceramic manufacturing Industry. European Commission, Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla, Spain.

COM 33, 2017. Informe de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones sobre la aplicación del plan de acción para la economía circular. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/?uri=CELEX:52017DC0033> [Consulta: enero de 2020]

COM 614, 2015. Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones cerrar el círculo: un

- plan de acción de la UE para la economía circular. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614> [Consulta: enero de 2020]
- Eurostat, 2019. Circular economy, indicators, monitoring framework. Comisión Europea. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators/monitoring-framework> [Consulta: noviembre de 2019]
- GaBi, 2019. Gabi PE International, 2010. Gabi V4.3, Germany. <http://www.gabi-software.com/>
- GRI, 2019. Sustainability disclosure database. <https://database.globalreporting.org/search/> [Consulta: septiembre 2019]
- Guinee, J., 2002. Handbook on Life Cycle Assessment: an Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Ibáñez, V., Bovea, M.D., Simó, A., 2011. Life cycle assessment of ceramic tiles. Environmental and statistical analysis. International Journal of Life Cycle Assessment 16(9), pp. 916-928.
- Ibáñez, V., Bovea, M.D., Azapagic, A., 2013. Assessing the sustainability of Best Available Techniques (BAT): Methodology and application in the ceramic tiles industry. Journal of Cleaner Production 51, pp. 162-176.
- Ihobe, 2018. Indicadores de economía circular. Sociedad pública de gestión ambiental, Gobierno Vasco. Marco de seguimiento europeo. Bilbao, Euskadi.
- ISO 14040, 2006. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. European Committee for Standardization (CEN).
- ISO 14064-1, 2018. Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals
- Rodrigues, V. P., Pigosso, D. C. A., McAlone, C., 2016. Process-related key performance indicators for measuring sustainability performance of ecodesign implementation into product development. Journal of Cleaner Production 139, pp. 416-428.
- SimaPro, 2019. Software. <https://www.pre-sustainability.com/2019>
- Smol, M., Kulczycka, J., Avdiushchenko, A., 2016. Circular economy indicators in relation to eco-innovation in European regions. Clean Technologies and Environmental Policy 19(3), pp. 669-678.
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., Yu, X., 2013. A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. Journal of Cleaner Production 42, pp. 215-277.
- The Ellen McArthur Foundation, 2013. Empowering Repair.