



FORMULACIÓN DE INDICADORES PARA LA MONITORIZACIÓN DEL RECICLAJE EN CICLO CERRADO DE PRODUCTOS DE BASE YESO: DECONSTRUCCIÓN, PROCESADO Y REINCORPORACIÓN

¹ Rodríguez Quijano, M.; Jiménez., Rivero, A.*; de Guzmán Báez, A.; García Navarro, J.

Grupo de Investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria, giSCI-UPM,
Universidad Politécnica de Madrid
Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España
e-mail: ana.jimenez@upm.es

(1) Palabras Clave: *Indicadores; Fin de vida; Residuo de Yeso; Proyecto GtoG*

1. Introducción

El establecimiento de un sistema de indicadores se ha configurado en los últimos años como un método simple de evaluación en los procesos de toma de decisiones [1]. Los indicadores son medidas cuantitativas, cualitativas o descriptivas, que permiten simplificar la información disponible acerca de un elemento y/o calidad de un proceso, en una forma relativamente sencilla de utilizar y comprender [2]. De tal manera que su información debe de ser relevante y útil para facilitar las decisiones que serán tomadas sobre la base de sus resultados, con el propósito de optimizar los procesos a medir e identificar cambios o mejoras [3].

La investigación realizada en el presente trabajo, en el marco del Proyecto Life+ GtoG “*From Production to Recycling, a Circular Economy for the European Gypsum Industry with the Demolition and Recycling Industry*”, expone la metodología desarrollada para la formulación de un conjunto de indicadores de monitorización, considerados como los más adecuados para la recogida de datos, análisis y evaluación de la fase de fin de vida de los productos de base yeso. Dichos indicadores se agrupan en cuatro categorías: técnicos, económicos, sociales y medioambientales, uniendo los aspectos vinculados a las características intrínsecas del proyecto a la triple aproximación tradicional de la sostenibilidad [4]. Su aplicación a una serie de casos de estudio, localizados en cinco de los ocho países europeos objeto del proyecto (Alemania, Bélgica, Francia, Países Bajos, y Reino Unido), permitirá evaluar su idoneidad así como proporcionar datos concluyentes sobre el impacto derivado de las actividades de deconstrucción, procesado/reciclado y reincorporación del yeso reciclado, determinando posibles áreas de mejora para incrementar la recuperación del residuo susceptible de ser reciclado, maximizar su calidad y aumentar el porcentaje de yeso reciclado reincorporado.

2. Métodos

El procedimiento seguido ha sido el siguiente:

- En primer lugar se seleccionaron los parámetros más relevantes que alimentarán posteriormente los indicadores a utilizar en función de la etapa o fase del ciclo de vida en la que inciden: deconstrucción, reciclado y reincorporación; y sus sub-fases según las actividades implementados en cada una de ellas (ejemplo: transporte, logística, procesado). Para ello se realizó una exhaustiva revisión de la literatura existente (normativa, sistemas y tecnologías constructivas, herramientas de evaluación de la sostenibilidad, y otras prácticas habituales) considerando los diferentes contextos nacionales que conforman el escenario del proyecto GtoG.
- Además, se integraron otros criterios considerados como influyentes procedentes de las acciones preparatorias del proyecto, en las que se realizó un primer acercamiento a los distintos modelos de mercado, y a través de las que se identificaron algunos de los parámetros con mayor impacto desde el punto de vista económico,



medioambiental, social y técnico. Esta clasificación servirá para evaluar el control y correcta gestión del residuo y del material reciclado.

- Finalmente, se combinaron dichos parámetros dando lugar a los indicadores, y se establecieron unos rangos de variación, correspondiente a los valores máximos y mínimos que el indicador puede tomar.

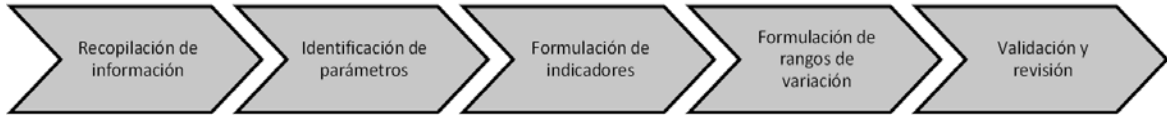


Figura1. Metodología para la formulación de indicadores

3. Resultados obtenidos

Las siguientes tablas, resumen los indicadores desarrollados por fase del ciclo de vida, así como las sub-fases que conforman cada una de ellas (Tabla 1, 2, 3).

DECONSTRUCCIÓN		
CATEGORÍA	SUB-FASE	INDICADOR
TÉCNICOS	Auditoría	T1. Desviación de la auditoría (%)
	Desmontaje, almacenamiento, segregación y carga	T2. Efectividad de la deconstrucción, segregación, almacenamiento y carga (%)
	Trazabilidad	T3. Trazabilidad del residuo (%)
ECONÓMICOS	Auditoría	ECO1. Coste de la auditoría (€)
	Desmontaje, almacenamiento, segregación y carga	ECO2. Coste de la deconstrucción(€)
	Destino final - logística	ECO3. Diferencia de precio entre reciclaje y vertido (€)
MEDIOAMBIENTALES	Destino final - logística	E1. Vertedero (%)
		E2. Comparación de las emisiones en el transporte (kg CO ₂ equiv/t)
SOCIALES	Desmontaje, almacenamiento, segregación y carga	S1. Mano de obra (min/m ²)
		S2. Formación del equipo (horas año/ trabajador)
		S3. Seguimiento de la gestión del residuo (yes/no)

Tabla 1. Indicadores de Deconstrucción

RECICLADO			
CATEGORÍA	SUB-FASE	INDICADOR	
TÉCNICOS	Almacenamiento	T1. Densidad del residuo de yeso (t/m ³)	
	Recepción	T2. Calidad del residuo (impurezas)(%)	
	Reciclado		T3. Residuo rechazado por contaminantes (%)
			T4. Contaminantes detectados y separados (%)
			T5. Material obtenido (%)
ECONÓMICOS	Almacenamiento	T6. Densidad del residuo reciclado (t/m ³)	
	Reciclado	ECO1: Coste del procesado (€/t)	
	Transporte	ECO2: Coste del yeso reciclado al producto (€/Kmt)	
MEDIOAMBIENTALES	Reciclado	E1. Emisiones del procesado (kg CO ₂ equiv/t)	
	Transporte	E2. Emisiones del transporte (kg CO ₂ equiv/t)	
SOCIALES	Reciclado	S1.Trabajadores (nºtrabajadores)	

Tabla 2. Indicadores de Reciclado

REINCORPORACIÓN		
CATEGORÍA	SUB-FASE	INDICADOR
TÉCNICOS	Recepción	T1. Criterios de calidad
	Logística - Reincorporación	T2. Yeso reciclado almacenado (m ² /t)
	Producto final	T3. Calidad final del producto (%)
ECONÓMICOS	Reincorporación	ECO1. Coste control de calidad (€/t)
		ECO2. Coste del triturado y tamizado (€/t)
MEDIOAMBIENTALES	Reincorporación	E1. Emisiones reincorporación(kg CO ₂ equiv/t)
SOCIALES	Reincorporación	S1. Satisfacción del fabricante

Tabla 3. Indicadores de Reincorporación

Para facilitar su utilización, se ha diseñado una herramienta de cálculo, consistente en un archivo Excel, estructurada en las siguientes secciones:



- Información general acerca del caso de estudio.
- Listado de parámetros a completar según categoría de impacto: económicos, técnicos, sociales y medioambientales.
- Ficha para cada indicador.

El usuario únicamente completa la información general que aparece en la primera pestaña y valor de los parámetros de la segunda pestaña (Figura 2). La herramienta genera de manera automática un resultado que se muestra en las diferentes pestañas correspondientes con los grupos de indicadores (Figura 3).

PARAMETERS FOR THE TECHNICAL INDICATORS		VALUE	UNIT	kg/m ²
GBW foreseen	Plasterboard waste		t	0,00
	Plaster blocks waste		t	0,00
	Total GBW foreseen	0,00	t	0,00
GBW generated	Plasterboard waste		t	0,00
	Plaster blocks waste		t	0,00
	Total GBW generated	0,00	t	0,00
Recyclable GBW foreseen	Plasterboard waste		t	0,00
	Plaster blocks waste		t	0,00
	Total recyclable GBW foreseen	0,00	t	0,00
Recyclable GBW generated	Plasterboard waste		t	0,00
	Plaster blocks waste		t	0,00
	Total recyclable GBW generated	0,00	t	0,00
Level of presence of contaminants in the GBW load. (N=inexistent or low; Y=medium or high)			NO	
Recyclable GBW refused by the waste outlet as such because of non compliance with the specifications			t	0,00
Certified end route of GBW tracked			t	0,00
Tracked recyclable and non-recyclable GBW sent to landfill			t	0,00

Figura 2. Pestaña de parámetros técnicos

Technical

Description
The quality of the audit is considered acceptable if first sub-indicator is below 10% and the second sub-indicator is below 20%

Evaluation method
T1.1 Deviation 1:
This sub-indicator aims at assessing the deviation between the quantity of GBW foreseen and the quantity of GBW generated. It must be below 10%, and the nearest to 0.
T1.2 Deviation 2:
This sub-indicator is only taken into account when deviation 1 is less than 10%. It aims at assessing the deviation between the quantity of recyclable GBW foreseen and the amount of recyclable GBW generated. It must be below 20% and the nearest to 0.

T1. Deviation of the audit

T1.1 Deviation 1	T1.2 Deviation 2
1. GBW foreseen - GBW _f (t)	3. Recyclable GBW foreseen - RGBW _f (t)
2. GBW fgenerated - GBW _g (t)	4. Recyclable GBW generated - RGBW _g (t)
$T_{1.1} = \frac{GBW_f - GBW_g}{GBW_g}$	$T_{1.2} = \frac{RGBW_f - RGBW_g}{RGBW_g}$
0%	0%

ACCEPTABLE

Figura 3. Pestaña de uno de los indicadores técnicos



3. Conclusiones

La metodología propuesta permite organizar los resultados y obtener información relevante sobre los aspectos medioambientales, sociales, económicos o técnicos de las obras en evaluación.

Su utilización facilita el seguimiento y control de las acciones monitorizadas, verificando a su vez el nivel de eficacia con el que son implementadas.

Los resultados obtenidos de la aplicación de los indicadores en los casos de estudio ayudarán a identificar las mejores prácticas para cerrar el ciclo de vida de los productos de base yeso, contribuyendo a mejorar a su vez la eficiencia de la cadena de valor.

Su utilización permitirá desarrollar una base de datos, que podrá ser revisada y actualizada sirviendo de referencia para otros casos de estudio.

Referencias

- [1] R. S. Srinivasan, W. Ingwersen, C. Trucco, R. Ries, and D. Campbell, "Comparison of energy-based indicators used in life cycle assessment tools for buildings," *Build. Environ.*, vol. 79, pp. 138–151, Sep. 2014.
- [2] J. García Navarro, L. Maestro Martínez, R. Huete Fuertes, and a. García Martínez, "Establecimiento de indicadores de sostenibilidad para entornos degradados: el Valle minero de Laciana (León, España)," *Inf. la Construcción*, vol. 61, pp. 51–70, 2009.
- [3] X. Picado, "Hacia La Elaboracion De Indicadores De Evaluación," *Ts.Ucr.Ac.Cr*, pp. 1–24, 1997.
- [4] H. Yuan, "Key indicators for assessing the effectiveness of waste management in construction projects," *Ecol. Indic.*, vol. 24, pp. 476–484, Jan. 2013.