

EL CICLO DE VIDA DEL CEMENTO. UN PUENTE A LA SOSTENIBILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

PEDRO MORA PERIS

DR. INGENIERO DE MINAS

PROFESOR TITULAR DE LA ETSI MINAS DE LA UPM

DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO TÉCNICO Y DE MEDIO AMBIENTE DE OFICEMEN

MARINA ROMAY DÍAZ

LICENCIADA EN CIENCIAS FÍSICAS

DEPARTAMENTO TÉCNICO Y DE MEDIO AMBIENTE DE OFICEMEN

SONIA SILVA SEGOVIA

LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICAS

DEPARTAMENTO TÉCNICO Y DE MEDIO AMBIENTE DE OFICEMEN

CARMEN HERRERO HERNANGÓMEZ

DEPARTAMENTO TÉCNICO Y DE MEDIO AMBIENTE DE OFICEMEN

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un producto, proceso o tecnología es una metodología que identifica, cuantifica y caracteriza los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida del objeto de análisis.

Si el ciclo de vida considera el ciclo completo es habitual denominarlo "desde la cuna hasta la tumba", pero si además existe la posibilidad de reciclado, se puede denominar "desde la cuna hasta la cuna".

La metodología del ACV incentiva el uso de sistemas que reutilizan o reciclan residuos. Así, la industria cementera gestiona el uso de diferentes tipos de residuos como materias primas o como combustibles.

La Ficha Medioambiental de Producto se utiliza para la comunicación entre empresas y su objetivo principal es que la cuantificación verificada sirva de base para la evaluación medioambiental de los productos de construcción y, por lo tanto, para su ACV.

1. Análisis de ciclo de la vida

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), ha avanzado mucho en los últimos 30 años, pero es de sobra conocido que se encuentra en las primeras etapas de su desarrollo.

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un producto, proceso o tecnología es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Básicamente, se enfoca al rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y que, normalmente, se utilizan más rápido de como se reemplazan o como surten nuevas alternativas. Por este motivo, la conservación de recursos privilegia la reducción de la cantidad de residuos generados (a través del producto), pero ya que éstos se seguirán produciendo, el ACV plantea manejar los residuos de una forma sostenible, desde el punto de vista ambiental, minimizando todos los impactos asociados con el sistema de manejo.

El ACV proporcionará información valiosa que permitirá a los empresarios tomar decisiones dirigidas a mejorar el desempeño ambiental de sus productos y/o servicios. Además, suministrará ventajas comparativas y competitivas al proporcionar todos los elementos de análisis, a las empresas que deseen certificar sus productos bajo el esquema de etiquetas ambientales.

2. Metodología del análisis del ciclo de vida (ACV)

La metodología del ACV está estandarizada en las normas ISO 14000, que contempla su desarrollo a través de los siguientes pasos:

- Definición de objetivos y alcance (ISO 14040).
- Análisis de Inventario (ISO 14041).
- Evaluación de Impactos (ISO 14042).
- Interpretación.

2.1. Fases de la metodología del ACV

La metodología del ACV está constituida por una serie de etapas:

- Definición de objetivos y alcance: Incluye la definición precisa del sistema a estudiar, los límites del estudio y el objetivo del mismo. Esta etapa condiciona las siguientes.
- Análisis de inventario: Cuantificación de todas las entradas y salidas de materia y de energía incluyendo todas las emisiones del sistema definido que puedan generar un impacto sobre el entorno. La representatividad de este análisis y, en consecuencia, la representatividad del ACV efectuado, depende de la calidad de los datos usados.
- Evaluación de impactos. Se divide en:
 - o Clasificación de los datos recogidos en el inventario, según la categoría de impacto a la que puedan afectar las diferentes entradas y salidas del sistema.
 - o Caracterización de las diferentes entradas y salidas del sistema, adaptando el valor recogido en el inventario, según su potencial de afectación a cada categoría de impacto. La caracterización se realiza en función de unos factores de equivalencia que deben basarse al máximo en conocimientos objetivos y técnicos que dependen de la metodología de evaluación de impactos utilizada.
 - o Normalización, consistente en la comparación del resultado obtenido en la etapa de caracterización con los valores reales o estimados para una zona o momento determinados, con el fin de evaluar el perfil ambiental resultante.
 - o Valoración, consistente en la ponderación y agregación del valor obtenido para las diferentes categorías de impacto en las etapas de caracterización o normalización, con el objeto de evaluar el impacto global del producto, proceso o actividad, mediante un resultado o valor único.
- Interpretación: La interpretación de un ACV es una fase en la que se combinan los resultados de análisis.

sis del inventario con la evaluación de impacto. Los resultados de esta interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones o recomendaciones para la toma de decisiones. Permite determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y, por tanto, qué puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse. En los casos de comparación de distintos productos se podrá determinar cual presenta un mejor comportamiento ambiental.

2.2. Metodologías de evaluación de impactos

En lo referente a la fase de Evaluación de Impactos, hay varias metodologías, diferenciadas unas de otras tanto en el número de fases como en las categorías de impacto o los factores de caracterización, normalización y valoración considerados.

Estas metodologías disponen de modelos informáticos para su aplicación, con bases de datos sobre emisiones asociadas a procesos.

Estas diferentes metodologías se utilizan para desarrollar la fase de Evaluación de Impactos de un Análisis de Ciclo de Vida. También permiten analizar los resultados asociados a un sistema respecto a los de otros procesos alternativos, con los que puede ser beneficioso realizar su comparación. En concreto:

- CML 1992: utilizada habitualmente para la evaluación del efecto ambiental asociado a productos y sistemas de producción.
- CML 2000: debido al escaso desarrollo actual de esta metodología de los modelos informáticos utilizados para su aplicación, su uso se desaconseja hasta que no se haya contrastado y desarrollado su versión definitiva.
- Eco-Indicador 95: utilizada normalmente para la evaluación del efecto ambiental asociado a productos y sistemas de producción.

- Eco-Indicador 99: utilizada habitualmente en el campo del Ecodiseño.
- Ecopuntos 97: utilizada habitualmente para la evaluación del efecto ambiental asociado a productos.
- EPS 2000: usada habitualmente en el campo del ecodiseño, en el ámbito empresarial.
- EDIP/UMIP 96: utilizada normalmente para la evaluación del efecto ambiental asociado a materiales.
- ISO 14000.

No es posible la evaluación comparativa directa de los valores de impacto ambiental con las distintas metodologías de evaluación por:

- Las distintas metodologías usadas no evalúan las mismas categorías de impacto.
- En los casos en los que las categorías de impacto evaluadas son las mismas, las unidades en las que se expresan sus resultados son diferentes y no se pueden comparar entre sí.

Para estar en disposición de identificar que metodología de evaluación de impactos es la más adecuada, se han efectuado los siguientes análisis comparativos:

- Análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos con las distintas metodologías de evaluación de impactos utilizadas, introduciendo cambios en el inventario analizado.
- Análisis comparativo de los resultados obtenidos con las distintas metodologías de evaluación de impactos utilizadas, por contaminante en vez de por tipología de impacto.
- Análisis comparativo de los resultados obtenidos con las distintas metodologías de evaluación de impactos utilizadas, con los resultados obtenidos para la evaluación de otros sistemas.

De acuerdo con los diferentes análisis comparativos efectuados, se concluye que el método EPS 2000 constituye la metodología de evaluación de impactos que presenta los resultados más completos.

3. Localización del ACV en el marco de la gestión ambiental

En el marco de la gestión ambiental internacional se han desarrollado diferentes conceptos que han tenido su origen en disciplinas profesionales específicas y que han evolucionado durante años de una manera independiente, con poca comunicación entre profesionales de las diferentes disciplinas. Entre los métodos conceptuales actuales, pueden destacarse cinco:

- **Ciclo de vida:** Es un término creado por los evaluadores ambientales para cuantificar el impacto ambiental de un material o producto desde que se extrae de la naturaleza hasta que regresa al ambiente como desecho. En este proceso sistemático se consumen recursos naturales y se emiten desechos.
- **Ecodiseño:** Por ecodiseño se entiende la incorporación sistemática de aspectos medioambientales en el diseño de los productos, a objeto de reducir su eventual impacto negativo en el medioambiente a lo largo de todo su ciclo de vida.
- **Tecnología limpia:** Es la tecnología que al ser aplicada no produce efectos secundarios o transformaciones al equilibrio ambiental o a los sistemas naturales. Esta tecnología trata de reducir y evitar la contaminación, modificando el proceso y/o el producto.
- **Ecología industrial:** Es un área interdisciplinaria que intenta asimilar el funcionamiento de los ecosistemas industriales, el medio social y natural que tienda a cerrar el ciclo de materia y a hacer eficientes los procesos internos.
- **Gestión de la calidad ambiental total:** Es la gestión constituyente del sistema de Gestión de Calidad Total

orientada a implementar, prever y mantener la política ambiental de la empresa. Establece los procedimientos, medidas y acciones apropiadas para satisfacer los requerimientos ambientales, dentro del contexto de la Gestión de Calidad total.

Los conceptos mencionados son métodos para alcanzar un objetivo común: el desarrollo sostenible. Por el contrario, las herramientas tienen un uso más concreto, como dar soporte a un determinado concepto suministrándole información cuantificable para alcanzar ese objetivo. Las herramientas deben tener un procedimiento de uso sistemático y a ser posible informativo. La principal función del ACV es la de brindar soporte para tomar las decisiones que se relacionan con productos o servicios, y más específicamente, la de conocer las posibles consecuencias ambientales relacionadas con el uso de un producto o con la configuración y utilización de herramientas de decisión.

4. Efectos del ciclo de vida

Los resultados de los efectos del Ciclo de Vida se pueden evaluar mediante las siguientes categorías de impacto:

- **Consumo de recursos:** Impacto que evalúa las extracciones de minerales y combustibles fósiles. Unidad de referencia: kg equivalentes de Sb.
- **Reducción de la capa de ozono:** Impacto producido por las emisiones atmosféricas que contribuyen a la reducción del ozono estratosférico. Unidad de referencia: kg equivalentes de CFC-11.
- **Calentamiento global:** Impacto producido por las emisiones atmosféricas que contribuyen al efecto invernadero. Unidad de referencia: kg equivalentes de CO₂.
- **Acidificación:** Impacto producido por las emisiones atmosféricas que contribuyen a una disminución del pH del entorno (NO_x, SO_x, HCl). Unidad de referencia: kg equivalentes de SO₂.

- Eutrofización: Impacto producido por las emisiones líquidas y atmosféricas que contribuyen al aumento de la materia orgánica en el medio hídrico (NOx, NH₃, PO₃-4). Unidad de referencia: kg equivalentes de PO₃-4.
- Formación de oxidantes fotoquímicos: Impacto que evalúa la generación de ozono troposférico debido a la reacción entre contaminantes (NOx y COVs), en presencia de luz solar. Unidad de referencia: kg equivalentes de C₂H₄.
- Generación de residuos: Impacto producido por la producción de residuos que contribuyen a la creación de vertederos. Unidad de referencia: kg de residuo generado.

Para lograr esto es necesario identificar todos los flujos de materia y energía involucrados en el producto durante todo su ciclo de vida.

5. Ejemplos de aplicación del ACV

Mediante tres ejemplos de tres residuos diferentes se va a comparar el ACV para la gestión de una tonelada estos residuos en dos escenarios diferentes. Escenario 1, cementera convencional más planta de tratamiento, y escenario 2, sólo cementera.

5.1. Uso de residuos como materia prima o combustible

La utilización de residuos como materia prima en los hornos cementeros es uno de los puntos pendientes de la industria cementera española, aunque la tendencia del uso de estos residuos en dicha industria está en alza.

Como ejemplo de dichos residuos se pueden citar: lodos de depuradora, grasas animales, harinas cárnicas, disolventes, neumáticos fuera de uso, aceites usados, residuos peligrosos, aceites, barnices y pinturas, etc.

Es interesante hacer una comparación de algunos de estos residuos en cuanto al impacto ambiental que producen en dos escenarios diferentes.

Los residuos utilizados en esta comparación son:

- Lodos de EDAR
- Neumáticos Fuera de Uso
- Residuos Peligrosos

5.1.1. Lodos de depuradora

Objetivo: Analizar el comportamiento ambiental de la gestión de lodos de depuradora en una cementera y su comparación con el impacto ambiental de su gestión en un vertedero controlado. Por tanto, se tienen dos escenarios:

Escenario 1: cementera convencional+vertedero controlado
Escenario 2: cementera con lodos como combustible

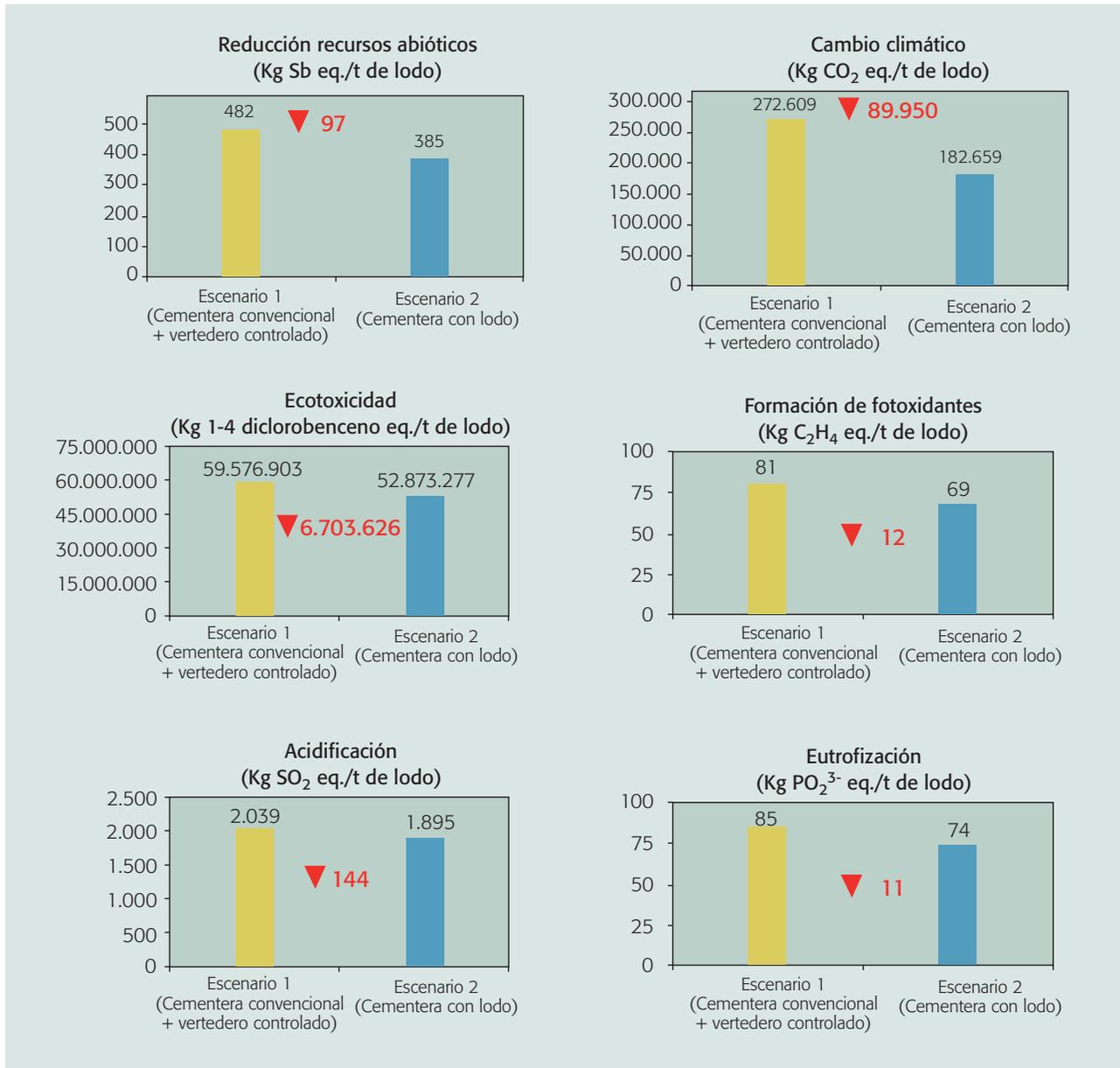
El impacto ambiental estimado para un escenario en el que una cementera utiliza lodos de depuradora como combustible alternativo resulta menor, en todas las categorías de impacto, y en especial sobre el cambio climático, la toxicidad humana, la reducción de recursos abióticos y la formación de fotooxidantes, respecto a un escenario en el que conviven una cementera con combustible fósil y un vertedero controlado de lodos de depuradora como instalación de tratamiento.

5.1.2. Neumáticos Fuera de Uso

Objetivo: Analizar el comportamiento ambiental de la gestión de neumáticos fuera de uso en cementera y su comparación con el impacto ambiental de su gestión en una planta de termólisis. Los dos escenarios que se dan son:

Escenario 1: Cementera convencional+planta de termólisis
Escenario 2: Cementera con neumáticos como combustible

El impacto ambiental estimado para un escenario en el que una cementera utiliza neumáticos fuera de uso como combustible alternativo resulta menor, en todas las categorías de impacto, y en especial sobre la reducción de recursos



abióticos, la disminución del ozono estratosférico, la ecotoxicidad y la toxicidad humana, respecto un escenario en el que conviven una cementera con combustible fósil y una planta de termólisis de neumáticos fuera de uso como instalación de tratamiento.

5.1.3. Residuos Peligrosos

Objetivo: Analizar el comportamiento ambiental de la gestión de residuos peligrosos en una cementera y su com-

paración con el impacto ambiental de su gestión en una incineradora de residuos peligrosos. Los escenarios que se pueden observar aquí son:

Escenario 1: cementera convencional+incineradora

Escenario 2: cementera con residuos peligrosos como combustible

El impacto ambiental estimado para un escenario en el que una cementera utiliza residuos peligrosos como com-

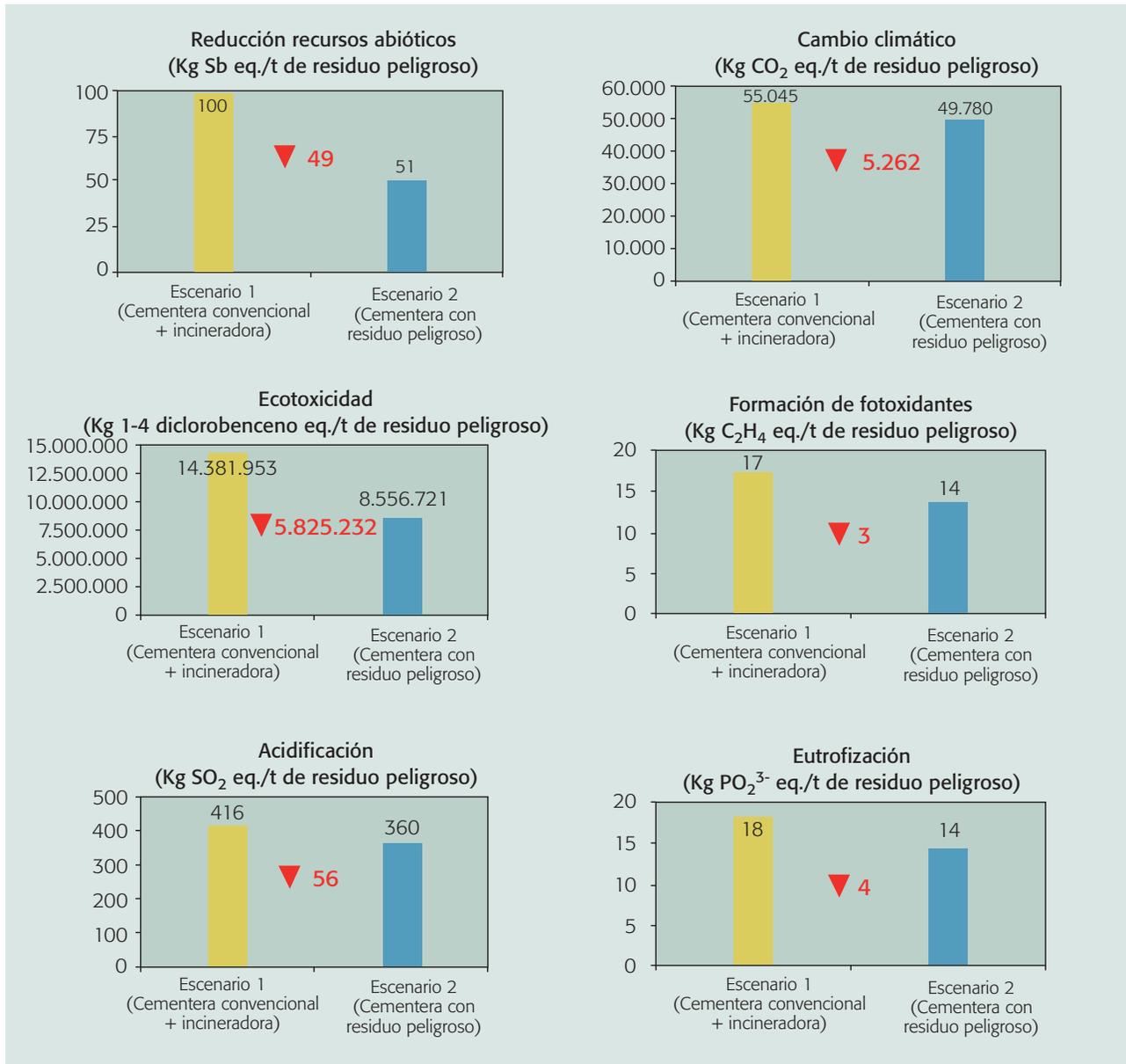


bustible alternativo resulta menor, en todas las categorías de impacto, y en especial sobre la reducción de recursos abióticos, la disminución del ozono estratosférico, la ecotoxicidad y la toxicidad humana, respecto de un escenario en el que conviven una cementera con combustible fósil y una incineradora de residuos peligrosos como instalación de tratamiento.

6. Environmental Product Datasheet: Ficha Medioambiental de Producto

La Ficha Medioambiental de Producto es utilizada para la comunicación entre empresas y su objetivo principal es la medida y verificación para la evaluación medioambiental de los productos de construcción.

Las aplicaciones del cemento como material son numerosas, por lo que no se puede definir una unidad



monofuncional, ya que la EPD está basada en una unidad declarada.

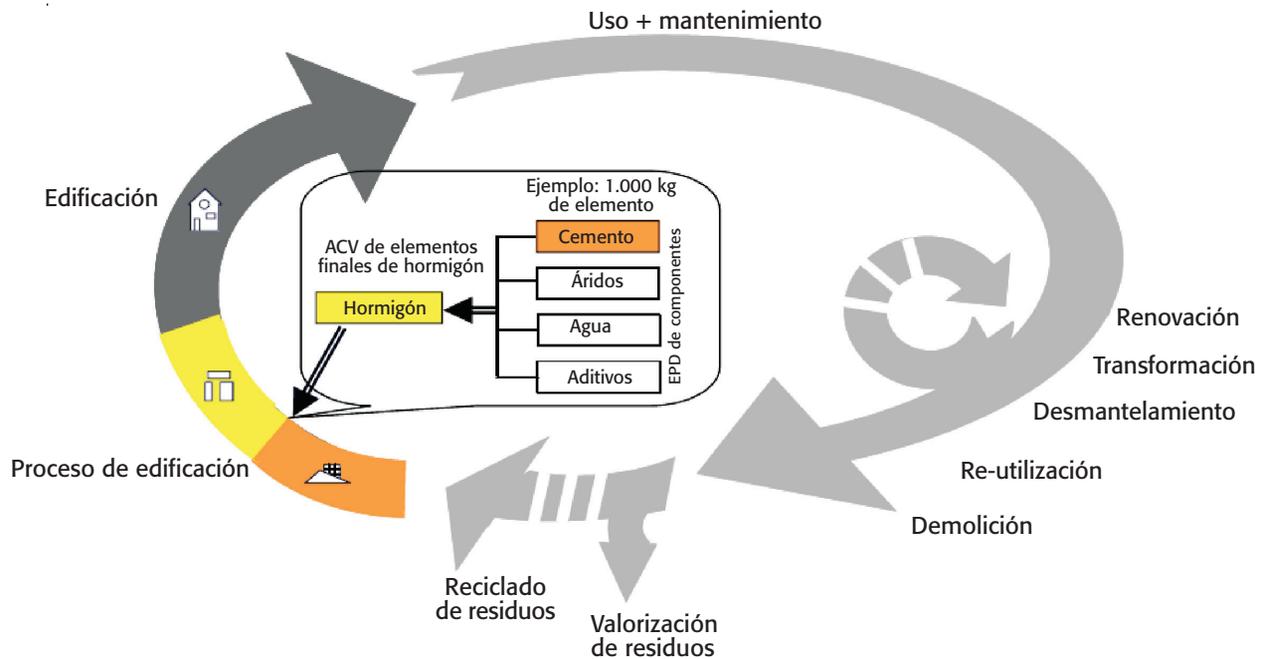
La EPD cubre, en el proceso de producción, los siguientes pasos:

- Extracción y adquisición de recursos materiales.
- Producción del crudo.
- Clinkerización.
- Molienda del cemento.
- Almacenaje del cemento/envío.

A continuación se muestra un guión de cómo se realiza la recogida de datos, según el modelo de Cembureau (European Cement Industry Association):

El empleo de materias primas como recursos en una cementera se contabiliza como:

- Pretratamiento de la materia prima antes de fábrica (se mide kg de recurso por 1000 kg de cemento producido).



- Recursos consumidos en fábrica (medido en kg de recurso por 1000 kg de cemento).
- El total de recursos se mide como la suma de los valores obtenidos antes de entrar a fábrica y consumidos en fábrica (también en kg de recurso por 1000 kg de cemento).

Como recursos utilizados se toman:

- Materias primas
 - o Naturales
 - o Alternativas
 - o Total de materias primas (suma de materias primas naturales y alternativas)
- Agua
- Energía térmica (medida en Megajulios consumidos por 1000 kg de cemento producido).
 - o Recursos naturales
 - Renovables
 - No renovables

- o Recursos alternativos
 - Renovables
 - No renovables
- o Total de recursos (suma de recursos naturales y alternativos).

El consumo de energía eléctrica en fábrica se mide en Kwh consumidos por 1000 kg de cemento producido.

Finalmente y de acuerdo con la metodología estandarizada en las normas ISO 14020, ISO TR 14025 y ISO 14040-43 seguida por Cembureau, las categorías de impacto evaluadas son:

- Calentamiento global (kg equivalentes de CO₂).
- Acidificación (kg equivalentes de SO₂).
- Agotamiento de la capa de ozono (kg equivalentes de CFC-11).
- Formación de oxidantes fotoquímicos (kg equivalentes de C₂H₄).
- Eutrofización (kg equivalentes de PO₃-4).