

Aproximación del análisis del ciclo de vida (acv) y del coste del ciclo de vida (CCV) al caso particular de los firmes de carretera

Approach from a Life Cycle Analysis and Life Cycle Cost Analysis Prospective to the Particular Case of Road Pavements

Marcos Perelli¹, Laura Parra Ruiz^{1*}

Resumen

Los **Análisis de Ciclo de Vida** (ACV) y de **Coste de Ciclo de Vida** (CCV) son herramientas de evaluación que permiten comparar varias opciones o alternativas de un «bien» (producto, tecnología, obra, servicio, suministro, etc.) para seleccionar la más conveniente desde el punto de vista medioambiental o económico, respectivamente. Su aplicación al caso concreto de la construcción y mantenimiento de carreteras no es sencilla, por ser esta infraestructura un producto singular y complejo, cuyos impactos (sociales, económicos y ambientales) afectan a zonas muy amplias. Cabe por ello hacer una primera aproximación al ACV y al CCV de las carreteras a través del estudio de sus firmes. Para ello, se exponen en el presente artículo los principales aspectos que se deben tener en cuenta, así como las limitaciones existentes, las posibilidades de aplicación de ambas técnicas, entre las que destacan el etiquetado ambiental de productos y la compra pública verde, y los nuevos retos y oportunidades que se presentan en el campo de la ingeniería civil.

Palabras clave: Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Coste de Ciclo de Vida (CCV), Carreteras, Firmes.

Abstract

Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Costing (LCC) are assessment practices that allow the comparison of several options or alternatives of a «good» (product, technology, work, service, etc.), in order to select the most advantageous one from an environmental or economic point of view. When focusing in road construction and maintenance some difficulties arise due to their complexity and singularity. Furthermore, road impacts (social, economic and environmental) can affect very wide territories. It is therefore advisable to make a first approach studying road pavements and, accordingly, this paper presents the main aspects to be taken into consideration, together with the existing shortcomings, potential uses of these tools like product environmental labelling or green public procurement, and the new challenges and opportunities that arise in the field of civil engineering.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC), Roads, Pavements.

1. EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y DE COSTE DE CICLO DE VIDA

Los **Análisis de Ciclo de Vida** (ACV; por sus siglas en inglés, *LCA*, *Life Cycle Assessment*) y de **Coste de Ciclo de Vida** (CCV; por sus siglas en inglés, *LCC*, *Life Cycle Costing*) son herramientas de evaluación que permiten comparar varias opciones o alternativas de un «bien» (producto, tecnología, obra, servicio, suministro, etc.) para seleccionar la más conveniente desde el punto de vista medioambiental o económico, respectivamente; aunque también se pueden aplicar de forma individualizada.

La Directiva Europea 2014/24/UE sobre Contratación Pública establece como definición de «**Ciclo de Vida**» (CV; por sus siglas en inglés, *LC*, *Life Cycle*) la siguiente: “*todas las fases consecutivas o interrelacionadas, incluidos la investigación y el desarrollo que hayan de llevarse a cabo, la producción, la comercialización y*

sus condiciones, el transporte, la utilización y el mantenimiento, a lo largo de la existencia de un producto, una obra o la prestación de un servicio, desde la adquisición de materias primas o la generación de recursos hasta la eliminación, el desmantelamiento y el fin de un servicio o de una utilización”. Esta noción de CV pretende abarcar todas las fases del bien, desde la extracción y procesamiento de las materias primas, la producción, comercialización, transporte, uso y mantenimiento, hasta la gestión última cuando llega al fin de su vida útil (figura 1).

1.1. El análisis de ciclo de vida

1.1.1. Definición

El **ACV** se define como “*un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno, para determinar su impacto*

* Autor de contacto: laura.parra@cedex.es

¹ Ingeniero de Caminos. Centro de Estudios del Transporte (CET/CEDEX).

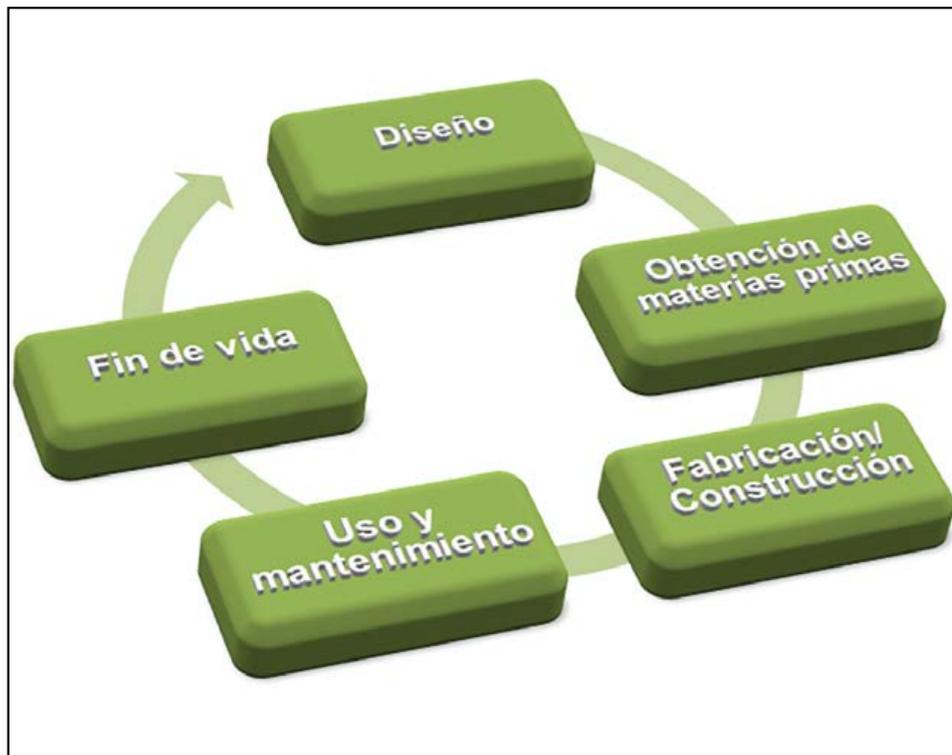


Figura 1. Fases principales del CV de un bien o producto.

en el medioambiente y para evaluar y poner en práctica estrategias de mejora ambiental” (SETAC¹).

Por otro lado, según consta en la ISO 14040, el ACV es la “recopilación y evaluación de las *entradas*, las *salidas* y los *impactos ambientales potenciales* de un sistema del producto a través de su ciclo de vida”.

De una forma simplificada, se podría decir entonces, que un ACV consistiría en determinar los siguientes aspectos, en cada proceso y fase del sistema (figura 2):

- Las entradas (*inputs*): se refiere fundamentalmente al uso de recursos y materias primas, al transporte necesario, a la energía (electricidad, combustibles u otros), etc.
- Las salidas (*outputs*): entendiéndose como tales a las emisiones al aire, al agua y al suelo, así como los residuos y los subproductos que resulten.
- Los impactos ambientales potenciales: vienen determinados por la «suma» de todas las entradas de materia y energía (*inputs*) y de las salidas de residuos y emisiones (*outputs*).

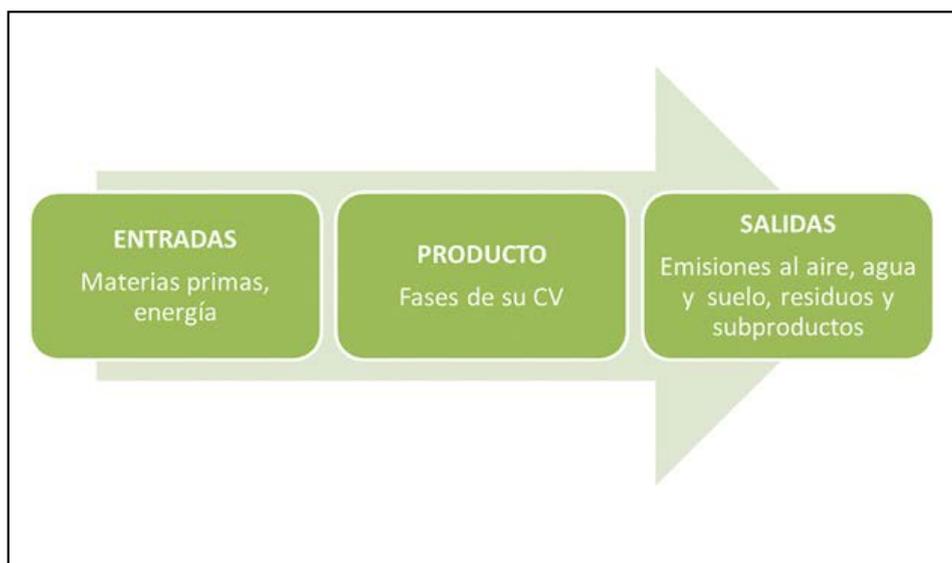


Figura 2. El ACV como sistema integral.

¹ SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry): es una fundación internacional sin ánimo de lucro, cuyo principal objetivo es desarrollar la metodología y los criterios de ACV.

Estos impactos ambientales potenciales, directamente atribuibles a un bien, a lo largo de todo su ciclo de vida, se identifican y cuantifican conforme a un conjunto sistemático y ordenado de procedimientos: compilación de un inventario de entradas y salidas del sistema; evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados a estas entradas y salidas e interpretación de los resultados de las fases de inventario y de impacto con relación a los objetivos del estudio.

1.1.2. Marco normativo

Las normas sobre ACV actualmente vigentes, han sido desarrolladas y emitidas por ISO dentro de la serie 14040. Asimismo, la mayoría han sido incorporadas por AENOR a la normativa española. Las principales son las dos siguientes:

- a) UNE-EN ISO 14040:2006. “Gestión Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida – Principios y marco de referencia”. Equivalente a la ISO 14040:2006 y revisada por ISO en 2010.

Especifica el marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio de ACV. Define el ACV como una técnica para evaluar los aspectos medioambientales y potenciales impactos asociados con un producto o proceso. También establece sus objetivos y fases e incluye una visión general de la práctica, aplicaciones y limitaciones del ACV en relación a un amplio rango de usuarios potenciales, incluyendo aquellos con un conocimiento limitado sobre el ACV.

- b) UNE-EN ISO 14044:2006. “Gestión ambiental – Análisis de ciclo de vida - Requisitos y directrices”. Equivalente a la ISO 14044:2006 y revisada por ISO en 2010.

Establece los requisitos y proporciona la metodología para efectuar el ACV, mediante:

- La definición del objetivo y el alcance del ACV.
- La fase de análisis del inventario del ciclo de vida (ICV).
- La fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV).
- La fase de interpretación del ciclo de vida.
- El informe y la revisión crítica del ACV.
- Las limitaciones del ACV.
- La relación entre las fases del ACV.
- Las condiciones de uso de juicios de valor y de elementos opcionales.

No es obligatorio realizar un ACV conforme a estas dos normas. No obstante, si un estudio se desvía de sus contenidos no se podrá afirmar entonces que el ACV se ha realizado de acuerdo con ellas, siendo entonces más complicado convencer a terceros (clientes, agentes implicados, etc.) de la fiabilidad y consistencia de los resultados obtenidos.

1.1.3. Metodología para la realización de un ACV

De acuerdo con la normativa UNE-EN ISO ya mencionada anteriormente, un ACV consta de las siguientes cuatro etapas o fases, perfectamente identificables:

a) Definición del objetivo, alcance y límites del sistema

Esta primera fase es fundamental ya que es la que constituye el marco en el que se va a realizar el estudio. Se debe dar respuesta, entre otras, a las siguientes preguntas: ¿cuál es el objetivo del estudio?, ¿cuál es el alcance, de acuerdo con los límites del sistema?, ¿a qué público va dirigido?, ¿cuál es su aplicación prevista?

Estas cuestiones, que afloran ya en esta primera etapa, son aspectos claves en el desarrollo del estudio. Por ejemplo, el término Unidad Funcional (UF) ya que es la medida relevante del sistema y a la que irán referidos todos los datos del sistema. También lo es el establecimiento de los límites del sistema, ya que implica definir los procesos que se van a incluir en el sistema, en función de los objetivos del estudio. Deberán darse, por tanto, razones detalladas que justifiquen la elección de esos límites. Igualmente, se deben definir los flujos dentro del CV, la calidad exigida a los datos y los parámetros tecnológicos y de evaluación.

b) Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV)

Consiste en la elaboración de un inventario de los datos de entrada y salida en el sistema estudiado. En esta etapa se recogen los datos correspondientes a las entradas y salidas para todos los procesos del sistema: las materias primas, el agua, la energía, las emisiones, los vertidos y residuos, etc.

Hay dos aspectos relevantes en esta fase. Por un lado, los datos han de ser validados y perfectamente documentados para garantizar su trazabilidad. Así mismo, todos los cálculos para su vinculación a la UF deben estar justificados. Por otro lado, deben también quedar claras las reglas de asignación, las cuales vinculan los impactos a un sistema determinado. No obstante, conviene destacar que, de acuerdo a la norma, siempre que sea posible debe evitarse la asignación.

c) Evaluación de impacto del Ciclo de Vida (EICV)

En esta etapa hay que distinguir tres aspectos fundamentales:

- Las categorías de impacto: representan los impactos ambientales que se consideran de interés; es decir, aquellos de los cuales se desean obtener resultados. Existe multitud de categorías de impacto ambiental y la selección de unas u otras dependerá del objetivo, del destinatario y del nivel de exactitud de los resultados requeridos. A modo orientativo, en la tabla 1 se indican las principales categorías de impacto ambiental contempladas por la SETAC.
- El Indicador de categoría o Ecoindicador: es la medida cuantitativa o unidad de referencia establecida para cada categoría de impacto ambiental (por ejemplo, kg CO₂eq para la categoría de Calentamiento Global) a la que representa.
- El modelo de caracterización: describe la metodología utilizada para convertir los datos del ICV en indicadores de categoría.

Una vez aclarados los tres conceptos anteriores, se puede pasar a explicar lo que se hace en esta tercera

Tabla 1. Principales categorías de impacto ambiental contempladas por la SETAC

CATEGORIA DE IMPACTO AMBIENTAL		UNIDAD DE REFERENCIA (ECOINDICADOR)	FACTOR DE CARACTERIZACION
CALENTAMIENTO GLOBAL	Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas.	Kg. Eq CO ₂ (CO ₂ eq)	Potencial de Calentamiento Global (PCG)
CONSUMO DE RECURSOS ENERGÉTICOS	Energía consumida en la obtención de las materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida del elemento analizado.	MJ	Cantidad consumida
REDUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO	Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica.	Kg. Eq. CFC-11	Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO)
EUTROFIZACIÓN	Crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provoca un alto consumo del oxígeno del agua.	Kg. Eq. NO ₃	Potencial de Eutrofización (PE)
ACIDIFICACIÓN	Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera.	Kg. Eq SO ₂	Potencial de Acidificación (PA)
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS	Consumo de materiales extraídos de la naturaleza.	Tm	Cantidad consumida
FORMACIÓN DE OXIDANTES FOTOQUÍMICOS	Formación de los precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica. La luz solar incide sobre dichos precursores, provocando la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos (el ozono-O ₃ es el más importante por su abundancia y toxicidad).	Kg. Eq. C ₂ H ₄	Potencial de Formación de Oxidantes Fotoquímicos (PFOF)

etapa (EICV), que consiste en traducir los resultados de la etapa anterior (ICV) a **potenciales impactos medioambientales**. Para ello, la norma establece una serie de «subetapas» de carácter obligatorio:

1. Elección de una metodología, lo que implica la selección de un modelo de caracterización y de unas categorías de impacto. Se puede elegir entre métodos de efecto medio («*midpoint*») o de efecto final («*endpoint*»). Los primeros cuantifican el efecto ambiental del producto, proceso o sistema analizado sobre diversas categorías (por ejemplo, recursos naturales, calentamiento global, agotamiento del ozono estratosférico, etc.) mientras que los segundos tratan de identificar, definir y evaluar el daño (impacto) real producido como consecuencia de dichos problemas ambientales sobre el hombre, los recursos y los sistemas naturales.
2. Asignación de los resultados del ICV a las distintas categorías de impacto según el modelo de caracterización asignado, que es lo que se llama clasificación.
3. Cálculo de los resultados de cada categoría de impacto, que es lo que se denomina caracterización.

De estas tres subetapas, se obtienen los valores de los indicadores de categoría (o ecoindicadores), que constituyen, precisamente, los resultados de la etapa de EICV.

Opcionalmente, se pueden realizar otras tareas, como son las siguientes:

4. Normalización: vinculando los resultados a una unidad de referencia (zona geográfica, etc.).

5. Agrupación: que consiste en la asignación de distintas categorías de impacto en un determinado conjunto. Por ejemplo, reuniendo varias categorías que tengan influencia sobre distintos aspectos como la salud humana, la calidad del ecosistema o los recursos.
6. Ponderación: que convierte indicadores de distintas categorías a un único resultado (puntuación) en forma de índice global de impacto ambiental del sistema. La ponderación implica un juicio de valor, con la correspondiente subjetividad asociada y no tiene una base científica.

d) Interpretación

En esta fase se realiza el análisis de resultados del ICV y el EICV, de acuerdo al objetivo y alcance marcados inicialmente, para establecer las conclusiones del estudio.

Para completar los requerimientos que exige la metodología del ACV, se recomienda una revisión crítica, bien por parte de un experto externo o interno o por un panel de partes interesadas. La opinión de éste suele aportar siempre otro punto de vista o enfoque al estudio, ayudando a mejorar el ACV en forma y contenido.

Un ACV es un proceso iterativo, lo que significa que se puede comenzar con un conjunto de opciones y requisitos que se pueden ajustar o redefinir más tarde, cuando haya más información disponible (por ejemplo, a partir de los resultados preliminares). Es posible que algunos procesos y flujos que inicialmente se excluyen de los límites del sistema, deban incluirse después y viceversa. También puede suceder que los plazos de tiempo y las categorías de impacto considerados inicialmente deban ser revisados cuando hay más información disponible (figura 3).

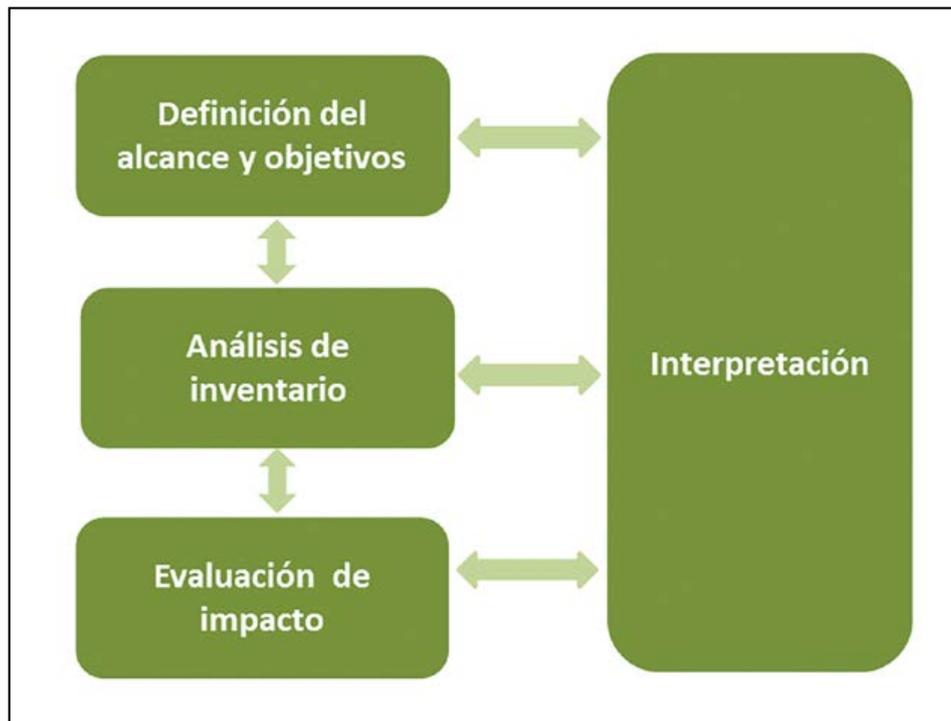


Figura 3. Etapas de un ACV desde una concepción holística. Fuente: Norma UNE-EN ISO 14040 (2006).

1.1.4. Usos

El ACV surge entonces como una metodología útil para el análisis objetivo, metódico, sistemático y científico de los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida completo de un bien, lo que ha dado en llamarse «de la cuna a la tumba».

Entre sus principales **usos** cabría destacar, por tanto, los siguientes:

- Mejorar su comportamiento ambiental a través de su diseño o rediseño.
- Compararlo ambientalmente con otros (*benchmarking*).
- Determinar el impacto del CV global del bien y de cada una de sus etapas.
- Identificar puntos de mejora, tales como reducción de emisiones, eficiencia energética, minimización de recursos, disminución de residuos generados, etc.
- Aumentar la cantidad de información disponible del bien y de su proceso.
- Incentivar la mejora continua de su comportamiento ambiental.

De esta forma, el ACV se constituye en el soporte técnico de diversas herramientas encaminadas a una producción y un consumo más sostenibles, como son las siguientes:

- El Ecodiseño (*Ecodesign*).
- Las Ecoetiquetas (*Ecolabelling*).
- Las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP; *Environmental Product Declaration, EPD*).
- La Huella de Carbono (HC, *Carbon Footprint*)
- La Huella hídrica o de Agua (HH o HA, *Water Footprint, WF*)

- La Contratación o Compra Pública Verde (CCPV; *Green Public/Private Procurement, GPP*), también llamada Compra Pública Ecológica (CPE).

1.2. El análisis de costes de ciclo de vida

1.2.1. Definición

Cuando se adquiere un bien, siempre se paga un precio. Sin embargo, el precio de adquisición es sólo uno de los elementos de coste en el proceso completo de adquirir, usar y deshacerse de él.

En este contexto, se entiende por CCV el resultante del cálculo y la valoración de todos los costes asociados a un bien determinado, que son sufragados directamente por uno o varios agentes a lo largo de su CV completo, desde que se inicia la concepción de la idea hasta el final de su vida útil.

Es decir, habrían de incluirse, entre otros, los siguientes tipos de costes:

- De adquisición y otros asociados (como por ejemplo, reparto, instalación, seguros u otros).
- De operación o funcionamiento, incluyendo la energía, el combustible, el agua, los recambios y el mantenimiento.
- De fin de vida, tales como su desmantelamiento o su depósito en vertedero (descontando, si procede, su valor residual).

No obstante, es necesario tener en cuenta que un CCV no puede utilizarse para comparar bienes distintos ni tampoco para contrastar distintas alternativas de uno mismo que aporten diferentes niveles de beneficio a los usuarios. En consecuencia, el CCV sólo es aplicable a alternativas de un mismo bien donde los beneficios sean iguales para todos ellos.

1.2.2. Marco normativo

En relación con el CCV existen varias normativas que abordan este concepto, de entre las cuales se destacan las siguientes:

- a) UNE-EN 60300-3-3:2009. “Gestión de la confiabilidad. Parte 3-3: Guía de aplicación. Cálculo del coste del ciclo de vida”

Esta norma proporciona una introducción general al concepto del CCV y cubre todas sus aplicaciones. Contiene además una guía general para realizar un análisis de este tipo que incluye un desarrollo del modelo de CCV.

- b) UNE-EN 15643-4:2012. “Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 4: Marco para la evaluación del comportamiento económico”

Esta norma europea plantea un análisis integral del ciclo de vida de los edificios desde el punto de vista de los denominados tres pilares del desarrollo sostenible: los componentes medioambiental, social y económico. La parte 4 regula las prestaciones económicas de los edificios en relación con sus características técnicas y funcionales, asumiendo que la evaluación económica es parte integrante de la evaluación de la sostenibilidad del edificio.

- c) ISO 15686-5:2008. “Edificaciones y bienes inmuebles construidos - Planificación de la vida útil. Parte 5: Coste del ciclo de vida”

Esta norma internacional establece los criterios adecuados para desarrollar el cálculo de CCV en el sector de la construcción con el objeto de predecir los costes de los bienes inmuebles construidos, de acuerdo con los requerimientos del promotor, en especial de las instituciones responsables de la gestión patrimonial de las administraciones públicas.

Esta norma relaciona los costes incluidos en el análisis, diferenciando los correspondientes al ciclo de vida que podría denominarse “elemental” (*LCC*), de los propios del ciclo de vida integral (*Whole-Life Cost*, *WLC*). Entre los primeros se incluyen los de la construcción, funcionamiento, mantenimiento y demolición del edificio; por su parte, el *WLC* incorpora desde los costes e inversiones externos al proceso constructivo, aunque imprescindibles para el funcionamiento del edificio, hasta los financieros y fiscales; incluye también los ingresos generados por el inmueble a lo largo de la vida útil, entre los que incorpora el valor residual del suelo al final de la misma, una vez desaparecido el edificio. La norma ISO, por último, propone pautas para la aplicación de técnicas estadísticas en la gestión de las variables de riesgo e incertidumbre para la estimación de situaciones futuras. Como suplemento a la norma ISO, el BCIS (*Building Cost Information Service*) británico publicó en el mismo año 2008 un método normalizado para la aplicación del análisis CCV en la contratación de obras de construcción, que no tiene el carácter de norma pero que es una referencia habitual en el sector en el Reino Unido.

1.2.3. Metodología para la realización de un CCV

Se puede decir que los elementos clave del análisis CCV son cuatro:

a) Determinación de los flujos financieros (costes y beneficios)

Las técnicas tradicionales de análisis de CCV más frecuentemente empleadas, tanto en el sector público como en el privado, se basan en una valoración puramente financiera en la que se analizan cuatro categorías de costes principales: inversión, explotación, mantenimiento y eliminación al final del CV, deduciéndose de éstos los ingresos que pudieran producirse.

Existen otros costes, más allá de los anteriormente citados, asumidos por terceros y que habría que tomar en consideración. Son los costes asociados a las «externalidades» debidas a los impactos medioambientales (como por ejemplo, los gases de efecto invernadero). En estos casos, el CCV se denomina «CCV ambiental».

b) El horizonte temporal del proyecto

La determinación del horizonte temporal constituye una de las decisiones más complejas del análisis CCV. Se trata de establecer la duración o vida económica del proyecto y de sus distintos elementos, cuestión fundamental en un método basado en el análisis económico de los efectos del transcurso del tiempo sobre el valor de los distintos flujos de costes y beneficios. Así por ejemplo, en el caso de la edificación, la norma ISO 15686-5 se limita a señalar que la vida útil del proyecto es un dato que forma parte del programa de necesidades del promotor del edificio, diferenciándolo del concepto de «periodo de análisis». Pero el problema no se limita a determinar la vida total del proyecto, porque también es preciso establecer la duración de cada uno de los elementos, equipos o sistemas de cara a su sustitución y renovación, cuestión relevante cuando se trata de comparar proyectos alternativos que plantean distintas soluciones constructivas y tecnológicas.

c) Las tasas de descuento o de actualización financiera aplicables

Al comparar los CCV de las distintas alternativas, en las que los costes se dan en diferentes instantes, no sería apropiado simplificar comparando la suma de los costes totales durante el periodo completo «N» sin tener en cuenta el momento temporal en el que se produce cada uno de ellos. Por ello, los costes se deben transferir a un momento común en el tiempo, generalmente el inicio del periodo de análisis, para permitir su comparación. Esto se consigue descontando al valor inicial ($n=0$) los sucesivos costes anuales « C_n » que se van sucediendo a lo largo del periodo considerado, dependiendo del factor «tasa de descuento», d , y del año n , en el que se produce.

En general, el resultado que se obtiene para cada una de las alternativas es un valor (expresado en una determinada unidad monetaria) a partir del «Valor Actualizado Neto» (VAN) del coste total de todos los flujos financieros del CV completo del bien. El CCV debe entenderse entonces como

un modelo en el que se introduce un conjunto de datos o valores de entrada y, tras una serie de cálculos, se obtiene el resultado en forma de VAN. No obstante, podrían emplearse otros indicadores de rentabilidad.

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+d)^n} \quad [1]$$

d) El método de análisis de resultados

Hay dos enfoques posibles para la realización de un estudio de CCV: un planteamiento determinista o uno probabilista. Principalmente, se diferencian en la forma en que se considera la variabilidad y la incertidumbre asociada a los valores de los parámetros de entrada (costes, tasa de descuento y periodo del análisis, fundamentalmente).

Los métodos deterministas tradicionales parten de la base de que es posible tener datos fiables futuros. Pero la incertidumbre asociada a ellos, obliga a ir hacia modelos probabilísticos, que recojan la probabilidad de cambio en factores como el coste y la durabilidad. El modelo determinista exige datos concretos para todas las variables evaluando las incertidumbres mediante «análisis de sensibilidad», pero lo más realista es manejar rangos de valores, lo que conduce a horquillas o bandas variables de resultados (modelo probabilístico) abordando las incertidumbres mediante «análisis de riesgo».

1.2.4. Usos

Entre los usos que pueden darse a un CCV se encuentran los siguientes:

- Evaluar y comparar alternativas de diseño.
- Evaluar la estrategia económica de proyectos y productos.
- Identificar los costes relevantes y sus causantes y las mejoras potenciales.
- Información para la planificación financiera a largo plazo.
- La Contratación o Compra Pública Verde (CCPV).

1.3. integración de los aspectos medioambientales, económicos y sociales

Estos aspectos (ambiental, económico y social) constituyen los denominados tres pilares del desarrollo sostenible, concepto basado en los principios de la Agenda 21 de Río y en el Plan de Aplicación de las decisiones de la Cumbre Mundial sobre desarrollo sostenible de Johannesburgo 2002. La visión más completa de los enfoques ACV y CCV trata de integrar estos tres pilares para lo que su evaluación debe realizarse desde una perspectiva global de análisis de la sostenibilidad² en el CV (LCSA - *Life Cycle Sustainability Analysis*).

A pesar de ello, el estudio de los impactos y aspectos sociales como tales se encuentra en un grado menor de desarrollo frente a los otros dos pilares. Se ha de indicar

también que, hasta el momento, la mayor parte de los estudios de CCV no tienen en cuenta el desempeño ambiental de los procesos, es decir, no consideraban el coste de las llamadas «externalidades medioambientales».

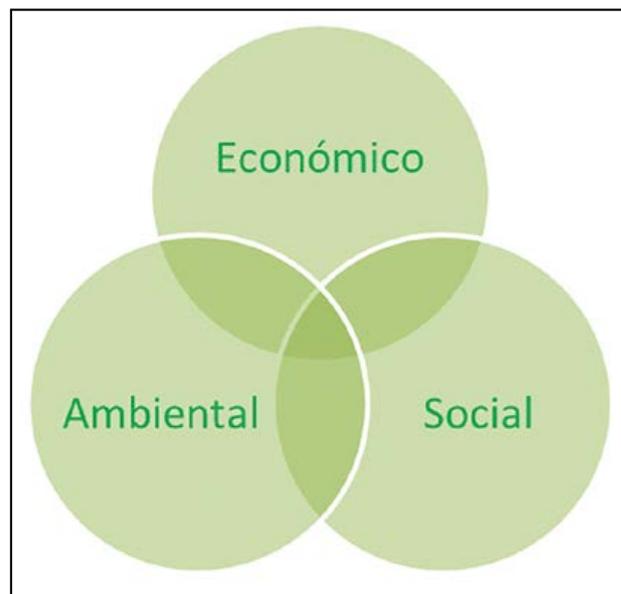


Figura 4. Tres pilares de la sostenibilidad.

No obstante, en los últimos años, se ha comenzado a tomar en consideración los verdaderos costes involucrados en la adquisición de un bien más allá de los costes convencionales y que son asumidos por terceros. En particular, introduciendo los costes externos debidos a los «impactos al medioambiente». Este planteamiento es el promovido, por ejemplo, por las nuevas Directivas europeas de Contratación Pública, en las que se pretende tomar en consideración todos los costes asociados al bien.

Uno de los enfoques prácticos posibles para esta integración es la evaluación y cuantificación de los impactos medioambientales mediante un estudio ACV y, tras su oportuna conversión en términos monetarios («monetización»), la inclusión de estas cantidades en los cálculos de CCV como costes de las «externalidades medioambientales» (figura 5). Ello permitiría tener en cuenta este tipo de costes formando parte de los totales reales de la alternativa, tal y como apuntan las Directivas mencionadas. Además, un inventario de datos utilizado para estudios ACV también puede ser utilizado en CCV, toda vez que se cuantifiquen económicamente tanto los impactos en términos energéticos (€/MJ) como los asociados a los materiales (€/kg).

Este proceso entraña notables dificultades, destacando entre otras, el hecho de que la información sobre los datos de costes y prestaciones se obtiene a partir de una multiplicidad de fuentes, predominantemente privadas, lo que conduce a resultados muy dispares. Hay que tener en cuenta, además, que la cuantificación en términos monetarios de los impactos ambientales está siempre sometida a una valoración con una cierta componente subjetiva. Por otro lado, es reseñable la falta de apoyo institucional a nivel de los distintos países, a pesar de lo cual, las directrices de la Unión Europea son claras, en el sentido de que «la adopción de una metodología del coste del ciclo de vida revela los verdaderos costes de un contrato», así como que «el uso de este método en la preparación de los criterios de adjudicación

² Sostenibilidad: desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Cumbre para la Tierra, Río de Janeiro, 1992).



Figura 5. Integración de ACV y CCV.

mejorará tanto las prestaciones medioambientales como los aspectos financieros del proceso de contratación”, tal y como establece en su Manual sobre la contratación pública ecológica (2004).

No obstante, existen actualmente dos disposiciones normativas que introducen metodologías para «monetizar» las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) y que constituyen un ejemplo práctico de cómo se pueden incluir las «externalidades medioambientales» en un CCV:

- La Directiva Europea 2009/33/CE relativa a la “Promoción de vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes”.
- El Reglamento Delegado (UE) N° 244/2012 relativo a la “Eficiencia energética de los edificios”.

2. APROXIMACIÓN A LOS FIRMES DE CARRETERA

2.1. Particularidades de la carretera

El sector de la carretera es uno de los más relevantes desde el punto de vista del consumo de recursos naturales y de las emisiones que genera, especialmente en la fase de uso de la infraestructura. Es por ello que resulta de gran interés su estudio desde la óptica del ACV y del CCV, de cara a conocer con precisión las entradas y salidas de los distintos sistemas que integran su CV, así como para la identificación de aspectos de mejora.

Sin embargo, existen algunas circunstancias específicas que hacen que el producto «carretera» sea sensiblemente diferente del resto y, por tanto, su estudio merezca una atención particularizada.

En primer lugar, las infraestructuras de carretera presentan una **alta ocupación del territorio**. Por ello, se podría decir que los efectos medioambientales y económicos superan el ámbito de la propia carretera, ya que, por un lado, los impactos afectan a zonas muy amplias y variadas del territorio y, por otro lado, su efecto socioeconómico es notable, pues actúan como un elemento vertebrador de las regiones, dinamizan la economía y permiten el acceso de la población a multitud de servicios (educativos, socio-sanitarios, etc.).

En segundo lugar, habría que destacar la **singularidad** de las carreteras. En general, cada proyecto de carreteras debe adaptarse a las particularidades para las que se diseña (intensidad de tráfico, localización geográfica, orografía, condiciones meteorológicas, etc.), lo que hace que cada carretera tenga que ser estudiada de forma casi individual.

Adicionalmente, hay que tener en cuenta que el producto carretera entraña una no desdeñable **complejidad**. El diseño, la construcción, explotación, uso y mantenimiento

(e hipotético fin de vida) de una carretera es el resultado de un elevado número de procesos, por lo que la mayor parte de los estudios existentes hasta la fecha se han limitado a la consideración de una serie de aspectos aislados, asumiendo determinadas hipótesis que no son reproducibles para todos los casos. Por todo ello, es difícil extrapolar conclusiones de carácter general y es preciso contextualizar de forma precisa los resultados de las distintas investigaciones llevadas a cabo hasta el momento.

Teniendo todo esto en cuenta, el ACV y el CCV de un firme se presenta, a priori, como una tarea más sencilla que el ACV y CCV de una carretera, ya que el firme es un componente o subconjunto de la misma. Aislar el firme de la carretera en este tipo de estudios permite enfocar mejor el análisis y anima, a la vez que propicia, que se generen recomendaciones específicas sobre éstos y sus características, como primer paso para lograr un enfoque global medioambiental y/o económico de la carretera en su conjunto.

2.2. El análisis de ciclo de vida de firmes (ACVF)

En primer lugar, es preciso definir las **fases de CV** que se pueden asociar al producto «firme». En este sentido, cabe destacar que puede haber distintos criterios a la hora de concretar las diferentes etapas y, ante todo, sobre su inclusión o no en su alcance.

En principio, se pueden considerar las siguientes (Santero, 2010):

- **Fase de producción de los materiales:** Incluye todas las fases seguidas en el proceso de fabricación de los materiales constitutivos del firme, desde la extracción de las materias primas (por ejemplo, piedra caliza), hasta su transformación en un material empleado en la construcción de un pavimento (por ejemplo, cemento). También incluye todos los transportes necesarios entre instalaciones, generalmente hasta su entrega a la «puerta» de la instalación de fabricación del firme.
- **Fase de construcción:** Incluye la totalidad de los procesos necesarios para la construcción del firme en la localización del proyecto; a veces también de las actividades correspondientes a los movimientos de tierras. Incluye, por lo tanto, la fabricación, el transporte y el empleo de equipos y maquinaria para su puesta en obra. En ocasiones, también los impactos debidos a los retrasos/congestiones del tráfico, así como a los desvíos durante la construcción.
- **Fase de uso o explotación:** Considera todas las actividades que se dan mientras el firme se mantiene

en servicio. Se trata principalmente de evaluar el impacto debido al tráfico rodado durante el horizonte temporal considerado. En ocasiones, también se consideran otros, como el asociado a la infraestructura (iluminación, actividades de vialidad invernal, etc.).

- **Fase de mantenimiento y rehabilitación:** Las actividades de conservación, mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción tienen lugar a lo largo de la vida del firme e implican multitud de actuaciones que a lo largo del tiempo (bien acciones pequeñas de manera regular y periódica o actuaciones de más envergadura algo más espaciadas en el tiempo), deben realizarse en el contexto de la carretera para facilitar la circulación y su conservación en el mejor estado posible.

Uno de los factores más determinantes a la hora de la futura conservación de la infraestructura es la correcta ejecución de la puesta en obra de los materiales y el proceso de construcción de la sección, por lo que asignar de forma general a cada sección tipo objeto de estudio un tipo de mantenimiento es complejo y puede resultar en muchos casos subjetivo. De hecho, se puede decir que no existen dos conservaciones iguales, debido a gran cantidad de factores externos que hacen variar notablemente las condiciones finales del firme.

- **Fase de fin de vida:** Dependiendo de los límites del sistema que se establezcan, esta fase puede incluir la demolición, el depósito en vertedero, los procesos de reciclaje así como otras actividades que tengan lugar tras la retirada del servicio del firme.

El elevado número de elementos a considerar en las fases anteriormente enumeradas (figura 6) hace que, en general, la aproximación del ACV a los firmes se haga de forma sólo parcial, no considerando todas las fases y/o no abordando todas las actividades englobadas en las fases consideradas.

La gran mayoría de los estudios se centran en las dos primeras fases, posiblemente porque se cuenta con una mayor información para su estudio: la de **producción de materiales** (extracción de las materias primas y su transporte,

fundamentalmente) y la de **construcción** (fabricación y puesta en obra, principalmente). La de **mantenimiento/conservación/rehabilitación** también se suele considerar (al menos parcialmente), aunque no en tantas ocasiones como las dos fases anteriores. Se ha de tener en cuenta que la casuística relacionada con esta fase es tan variada que es difícil encontrar información precisa al respecto. Por el contrario, **las fases de explotación y de fin de vida** son las más omitidas, posiblemente debido a las dificultades para la obtención de datos así como por la complejidad y falta del suficiente conocimiento sobre estas etapas.

Por otro lado, **la elección de la UF** es otro de los elementos clave en la definición del alcance. La UF de un firme viene definida no sólo a partir de las características de su estructura (longitud, tipología, tipos de materiales, espesor de sus capas, etc.), sino también por otra serie de factores como son el tráfico que soporta, las condiciones ambientales y el periodo de análisis. Por estas razones, existe una **gran falta de consenso respecto a la elección de la UF**, pudiendo variar desde la tonelada de mezcla bituminosa puesta en obra al kilómetro de firme de autovía totalmente terminado.

Se presenta una problemática similar en cuanto a los **periodos de análisis**, que pueden variar desde los 25 hasta los 50 años, habiéndose identificado incluso algún estudio que emplea un horizonte temporal de 100 años (*Birgisdottir*, 2007). El periodo de análisis de un estudio de ACVF es un aspecto fundamental, sobre todo si es de tipo comparativo, estando asociado principalmente a la durabilidad (es decir, al deterioro) del firme y también a las actividades de la fase de mantenimiento-rehabilitación.

Ahondando un poco más en las propias metodologías para el cálculo del ACVF hay que poner de manifiesto la existencia de multitud de técnicas, con criterios distintos para la **caracterización y asignación de impactos**. En este sentido, los indicadores más comúnmente evaluados son el consumo energético total, el consumo de recursos (renovables y no renovables), la producción de residuos y las emisiones de CO₂. No obstante, centrarse únicamente en estas categorías de impacto genera un enfoque demasiado parcial, dejando de lado otro tipo de impactos ambientales que pudieran resultar relevantes y que normalmente no son valorados.



Figura 6. Fases del ciclo de vida de una carretera habitualmente consideradas.

En relación con este tema, se debe hacer referencia a la existencia de normas que establecen recomendaciones sobre las **categorías de impacto** a considerar. En el sector de la construcción cabe destacar la norma UNE-EN 15804:2012+A1:2014 sobre “Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción”, que propone un conjunto de indicadores medioambientales, clasificados en 6 de tipo medioambiental, 10 de recursos, 3 sobre residuos y 4 más sobre los flujos de salida. Igualmente, y de forma más específica, se puede destacar la reciente publicación en el campo de las infraestructuras de carreteras del documento CWA 17089:2016 “*Indicators for the sustainability assessment of roads*”, en el que se propone un conjunto de indicadores recomendados para su empleo en el estudio de la sostenibilidad de las carreteras y sugiere un procedimiento para su aplicación.

Frente a los beneficios que supone la aplicación de las metodologías de ACV y CCV, ya citados algunos de ellos en este artículo, existe una serie de **limitaciones** que, en cierta medida, suponen un contrapeso y pueden hacer perder efectividad a este tipo de análisis como herramienta de apoyo en la toma de decisiones.

Una de las de mayor relevancia es la fiabilidad de los datos empleados en los estudios. En efecto, los datos de entrada que un ACV requiere no están siempre disponibles (especialmente los relacionados con las tareas de mantenimiento a largo plazo). El proceso de recopilación de los numerosos datos necesarios para la realización de un estudio de ACV supone uno de sus puntos críticos, ya que es muy complicado y laborioso conseguir la información necesaria de forma completa, actualizada, real y fiable, de manera que puedan considerarse válidos. En ocasiones, estas restricciones obligan incluso a limitar el alcance del propio estudio. En otras, se asume sin fundamento científico datos de entrada que condicionan fuertemente el proceso y cuestionan la representatividad de los resultados que se obtienen. No se trata tanto de obtener datos sin más, sino de determinar aquellos que se ajusten a la realidad particular del estudio.

Otras limitaciones relevantes son:

- Se dan ciertas incertidumbres en las metodologías de ACV, principalmente en el proceso de evaluación de impactos, y debido, entre otros motivos, a los criterios subjetivos a la hora de realizar estos procesos según los modelos existentes.
- La realización de este tipo de estudios implica un coste elevado por el tiempo que se requiere para llevarlos a cabo.
- No se tiene en cuenta las escalas temporal y/o geográfica a la hora de evaluar la emisión de flujos (ya que la «suma» de flujos no considera el sitio y/o momento en que estos han tenido lugar).
- Supone una relación lineal entre impactos y cantidades de contaminantes liberadas, sin tener en consideración valores umbrales, sinergias, persistencia, resiliencia, etc.

Entrando ya a valorar el grado de impacto de cada una de las fases sobre el global del firme, y sin perder de vista lo anteriormente enunciado, se ha encontrado que

aquellas iniciativas que han completado todas las etapas del CV coinciden, generalmente, en que la fase causante de **mayor impacto ambiental** es la de **explotación**, sobre todo en carreteras con volúmenes de tráfico altos; siendo notablemente superiores que los de los del resto de las fases. Para tener una idea de la magnitud, señalar que, según el estudio de *Häkkinen et al.* (1996), se concluyó que las emisiones debidas al tráfico superaban en dos órdenes las generadas durante el resto de etapas. Por ello, los esfuerzos deberían dirigirse a reducir los impactos en la etapa de utilización.

En el caso de carreteras de baja intensidad de tráfico, parece que la fase de **obtención de materias primas** (producción y transporte) tendría un mayor peso relativo (CE, 2016).

No obstante, se debe destacar que un mayor o menor impacto de cualquiera de las fases del CV del firme, depende mucho de las decisiones tomadas en la fase de diseño de la infraestructura. En efecto, por ejemplo, características relacionadas con el trazado de la vía, con el tipo de tráfico (velocidad, distribución, etc.) o, en el caso de los firmes, con la tipología y características del firme (estructura, rugosidad, regularidad, etc.), que condicionan su durabilidad, repercutirán en el consumo de combustible de los vehículos y, por tanto, en las emisiones durante esta fase de uso.

Asimismo, las condiciones y estado del firme guardan relación directa con la fase de mantenimiento ya que condiciona los programas de conservación y/o rehabilitación a lo largo de su vida en servicio. También hay que tener en cuenta que una carga de tráfico más pesado requiere una mayor capacidad de soporte y también aumenta la necesidad de operaciones de mantenimiento, además de aumentar las emisiones de GEI en la fase de uso.

2.3. El análisis de costes de ciclo de vida de firmes (CCVF)

El CCV aplicado a los firmes es una técnica de evaluación económica para la toma de decisiones de inversiones, que permite cuantificar las implicaciones a largo plazo de las decisiones iniciales adoptadas en el proyecto del firme sobre los costes futuros de las actividades de conservación y rehabilitación necesarias para mantener un nivel de servicio mínimo preestablecido, en un periodo específico de tiempo (*Walls et al.*; 1998).

Por ello, el CCVF facilita una mejor y más fundamentada toma de decisiones sobre las inversiones. Se apoya en los principios de análisis económicos utilizados tradicionalmente para evaluar las inversiones de proyectos de carretera y otras obras públicas, poniendo un mayor énfasis en el largo plazo y considerando el CV completo del proyecto.

La metodología tiene en cuenta todos los costes relevantes a lo largo de su vida útil. Es decir, no se consideran únicamente los gastos iniciales (honorarios, impuestos, etc.), sino que también se incluyen los costes sobre los usuarios derivados de las actividades de construcción, mantenimiento, utilización y rehabilitación, así como los asociados al fin de vida (demolición, gestión de residuos y, en su caso, reutilización de los elementos recuperables). En consecuencia, la eficiencia de los CCVF depende en gran medida de la precisión a la hora de predecir el comportamiento

futuro del firme y, por tanto, de los calendarios de mantenimiento y sus costes. En la corriente de flujos opuestos, también han de contabilizarse los ingresos generados durante la vida útil, que realmente se producirán o serán susceptibles de producirse en el futuro.

Desde el punto de vista de la tipología de costes que intervienen en un CCVF según el agente que asume estos, la FHWA distingue entre tres: los de administración, los de usuario y los externos (de las «externalidades medioambientales», entre otros). Los primeros son los pagados directamente por el promotor del proyecto e incluyen el inicial (construcción-rehabilitación) y los costes futuros (mantenimiento del firme, etc.). Los costes de usuario son costes sociales asumidos por los usuarios de la carretera e incluyen los costes por retrasos durante las actividades de construcción, mantenimiento y rehabilitación. Las externalidades no tienen unos límites bien definidos, aunque los costes por contaminación y por ruido son buenos ejemplos de este tipo de costes, que se suelen caracterizar por no tener precio de mercado.

Cabe señalar que la magnitud de los costes de usuario y de los medioambientales supera los de administración a partir de un cierto volumen de tráfico, aunque este límite viene influenciado por el carácter subjetivo inherente a la cuantificación económica («monetarización») del tiempo y de los accidentes, en los primeros, y de los impactos ambientales, en los segundos.

Las etapas básicas necesarias para desarrollar un CCVE, tal y como tradicionalmente lo ha venido realizando la FHWA, son las siguientes:

1. Establecimiento de las alternativas de diseño del firme para el periodo de análisis.
2. Determinación de los periodos de funcionamiento y del calendario de actividades.
3. Estimación de los costes (de administración y de usuario).
4. Cálculo del coste total actualizado (VAN) en el periodo de análisis.
5. Estudio de las alternativas y re-evaluación de las estrategias de diseño.

De esta forma, pueden compararse distintos tipos de firmes (siempre que el nivel de beneficios que se obtenga con las distintas alternativas sea el mismo), permitiendo seleccionar la alternativa óptima, teniendo en cuenta los costes totales durante la vida útil y, entre ellos, costes de difícil cuantificación como son, entre otros, los riesgos de construcción, el mantenimiento, la congestión, la seguridad, e incluso las «externalidades medioambientales».

En cuanto a las **limitaciones** de los CCVF son similares a las ya señaladas para los ACVF; tales como la fiabilidad e incertidumbre de los datos de entrada y su validación (también las incertidumbres inherentes a las propias metodologías y su coste elevado). No obstante, para el caso de los CCVF, estas limitaciones lo son en menor medida, al menos para los costes de administración. Ello es debido, fundamentalmente, a que el análisis de este tipo de costes de administración tiene mayor recorrido y aplicación en el tiempo, por lo que cuenta con bases de datos de costes más desarrolladas.

2.4. Integración en los firmes de los tres pilares de la sostenibilidad

A día de hoy, se puede decir que aún queda pendiente la integración de los aspectos ambientales con los sociales y económicos del firme, si bien se están produciendo algunos avances. Este reto se considera de gran importancia si realmente se pretende alcanzar la sostenibilidad en los procesos de toma de decisiones relacionadas con el diseño, la construcción y la gestión de los firmes.

Las iniciativas para integrar las consideraciones ambientales, sociales y económicas asociadas al CV de los firmes se están planteando principalmente según dos enfoques distintos.

Por un lado, está el «**CCV ambiental**» de los firmes, en el que se incluyen las «externalidades ambientales» como otro elemento más del CCVF, aunque se dejan fuera los aspectos sociales (si bien es también cierto que algunos de ellos pueden integrarse, principalmente los costes de usuario, dentro de la categoría de consideraciones sociales).

Las metodologías de ACVF y CCVF tienen su base en el mismo enfoque de CV del firme y deberían, por tanto, ser susceptibles de complementarse de alguna manera. Sin embargo, aún no ha sido desarrollada la herramienta que combine ambos enfoques con una calidad y fiabilidad suficiente.

Se trata, principalmente, de estimar los costes medioambientales externos (concretamente los costes de daños por contaminación) y, mediante un modelo, combinarlos con los costes de agencia y usuario extraídos de los CCVF. Aunque, tal y como ya se ha indicado, esta integración, no exenta de dificultades, pasaría por la «monetarización» de estas «externalidades».

Por otro lado, esta integración también se puede abordar a partir de lo que se denomina como «**evaluación de la sostenibilidad**», que consiste en la estimación de diversos indicadores que tratan de evaluar los impactos ambientales, los sociales o los de tipo económico, a lo largo del CV del firme.

En esta línea, hay que destacar los nuevos enfoques normativos que se están desarrollando en el seno de los comités dedicados a la evaluación de la sostenibilidad en la construcción. Los primeros desarrollos normativos sobre esta cuestión apuntaron hacia el campo de la edificación, por lo que es en este ámbito en el que se ha avanzado más. No obstante, a nivel de obra civil ya se está trabajando en la definición de métodos para la evaluación de la sostenibilidad de las infraestructuras, planteando su análisis integral del CV desde el punto de vista del desempeño medioambiental, social y económico.

De esta forma, a nivel internacional el comité ISO TC 59 SC17 está desarrollando una serie de normas para la evaluación de la sostenibilidad de las obras civiles, destacando las siguientes:

- La norma ISO/TS 21929-2 “*Sustainability in buildings and civil engineering works - Sustainability indicators - Part 2: Framework for the development of indicators for civil engineering Works*”, y
- la ISO/DIS 21930 “*Sustainability in buildings and civil engineering works -- Core rules for environmental declaration of construction products and services used in any type of construction works*”.

Así mismo, a nivel europeo, en el comité CEN TC 350 se está elaborando también una serie de documentos para el estudio de la sostenibilidad en la obra civil. Entre ellos, cabe destacar:

- La norma UNE-EN 15804 “Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción”,
- el proyecto prEN 15843-5, “Sustainability assessment of buildings and civil engineering works - Part 5: Framework for the assessment of sustainability performance of civil engineering works”, y
- el proyecto prEN 15643-5, “Sustainability of construction works — Sustainability assessment of buildings and civil engineering works — Part 5: Framework on specific principles and requirement for civil engineering works”.

A través de estas referencias, se puede apreciar que existen distintas iniciativas para proporcionar sustento normativo al aspecto de la sostenibilidad en la obra civil.

3. APLICACIONES

3.1. Del ACV: EL etiquetado ambiental

Además de los usos ya citados anteriormente del ACV (mejora del producto, *benchmarking*, etc.), se puede decir que una de las aplicaciones más inmediatas del ACV es el **etiquetado y la certificación ambiental de productos**. Las metodologías de ACV son elementos fundamentales en los mecanismos que se emplean para organizar y certificar el comportamiento ambiental de las empresas y de los productos y/o servicios, teniendo en cuenta el concepto de ciclo de vida.

El etiquetado ambiental está “constituido por un conjunto de herramientas voluntarias que intentan estimular la demanda de productos y servicios con menores cargas ambientales, ofreciendo datos relevantes sobre su ciclo de vida para satisfacer la demanda de información ambiental de los compradores” (definición según UNE-EN ISO 14020:2002

sobre “Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Principios generales”).

En concreto, la información del ACV se emplea para las llamadas Etiquetas Ecológicas Tipo III o Declaraciones Ambientales de Producto (DAP; por sus siglas en inglés, *EPD, Environmental Product Declaration*), estando los principios y procedimientos para su desarrollo establecidos en la norma UNE-EN ISO 14025:2010 sobre “Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos”.

Una DAP no es simplemente un símbolo o un logotipo, se trata de un informe detallado con información muy técnica. La DAP, por tanto, se define como un inventario de datos medioambientales cuantificados de un producto con unas categorías de parámetros prefijadas, basados en las normas UNE-EN ISO 14040 y UNE-EN ISO 14044, referentes a ACV, aunque ello no excluye información medioambiental adicional exigida dentro de un programa de declaración medioambiental de tipo III. Cualquier información contenida en una DAP debe ser verificable. De hecho, las DAP son validadas y otorgadas por una tercera parte imparcial, que ejerce como entidad verificadora, y constan de un proceso de consulta abierta con las partes interesadas.

Las DAP se elaboran y verifican conforme a las Reglas de Categoría de Producto (RCP; por sus siglas en inglés, *PCR, Product Category Rules*) particulares. Estas reglas establecen los criterios comunes para considerar el ACV y el contenido de la DAP de un grupo de productos con funciones equivalentes. Dentro del sector de la construcción, un importante impulso para avanzar en esta línea ha sido el Reglamento europeo 305/2011 de productos de construcción (RPC), pues indica en su consideración 56 que “para la evaluación del uso sostenible de los recursos y el impacto medioambiental de las obras de construcción deben utilizarse, cuando estén disponibles, las DAPs” (figura 7).

Así mismo, la industria de los productos y servicios de construcción cuenta con la ya citada norma UNE-EN 15804:2012+A1:2014, que establece unas reglas básicas comunes para el sector de los productos de construcción. Esta norma no establece el procedimiento de cálculo para obtener una DAP, sino que es una guía para elaborar las RCP.

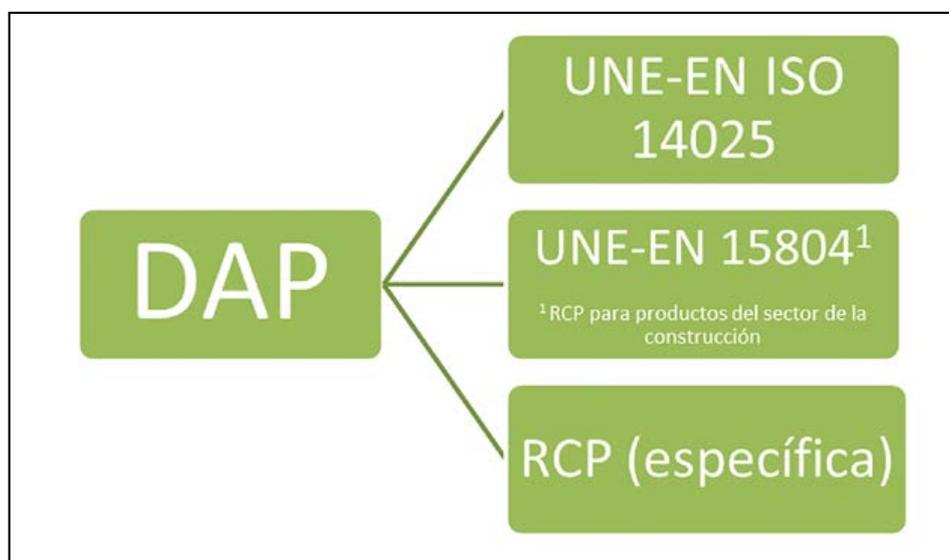


Figura 7. Marco normativo para elaboración de una DAP en el sector de la construcción.

3.2. Del CCV: la compra y contratación pública verde

La Compra y Contratación Pública Verde (CCPV; por sus siglas en inglés, *GPP*, *Green Public Procurement*) es la adquisición o contratación de bienes y servicios por parte de cualquier administración pública teniendo en cuenta no sólo los criterios económicos o técnicos de los productos, servicios u obras a contratar, sino también su comportamiento ambiental a lo largo de su CV completo.

Ya en 2008, una Comunicación de la Comisión Europea titulada “Contratación pública para un medioambiente mejor” señala a la construcción como el primer sector prioritario para la aplicación de políticas de esta naturaleza, implantando la estrategia *GPP*, en la que se propone la metodología CCV como una herramienta básica de análisis. Reforzando estas posturas, en un estudio sobre la contratación sostenible realizado en 2007 por el *Öko-Institut*, por encargo de la propia Comisión Europea, se concluyó que la adquisición de productos y servicios sostenibles no es necesariamente más onerosa para las Administraciones Públicas contratantes que la de sus «equivalentes» no sostenibles, siempre que el proceso de contratación se lleve a cabo mediante el cálculo de CCV. Su aplicación dentro de las políticas públicas de contratación permiten demostrar que “*si bien los bienes y servicios social y medioambientalmente preferibles pueden tener unos costes de inversión iniciales superiores, se convierten en la opción más rentable si se tiene en cuenta el ciclo de vida integral de los proyectos, suponiendo ahorros sustanciales tanto durante su vida útil como en el proceso de eliminación cuando ésta llega a su final*” (IISD, 2010).

En la actualidad, a nivel de la UE, el marco de contratación de los Estados miembros viene definido por tres nuevas Directivas, que entraron en vigor en 2014, para compras y contratos por encima de un cierto umbral (por debajo de ese umbral son de aplicación las leyes nacionales)³. Dos de las nuevas Directivas acuden a la utilización del cálculo del CCV en el proceso de contratación de bienes públicos, haciéndolo además de una forma idéntica.

Como principales novedades «ambientales» de la Directiva 2014/24/UE, que es la que se refiere a contratación pública con carácter general, cabe destacar que apoya la CCPV, ya que muestra su preferencia por priorizar, entre otros, la calidad, las consideraciones medioambientales, los aspectos sociales o la innovación de las ofertas por encima del criterio único basado en el precio. Además, introduce, por primera vez en el ámbito legislativo comunitario, el uso del CCV, así como el de las «externalidades» del proceso de producción para la determinación de la «Oferta Económicamente Más Ventajosa» (OEMV).

De la nueva Directiva cabe destacar también que establece que, aunque ahora mismo no hay métodos armonizados a nivel de la UE para determinar el CCV, en el momento en el que los haya serán de aplicación obligatoria para los Estados miembros.

La aplicación de la «compra verde» (también llamada compra ecológica, CPE) no es inmediata. Se debe saber de qué forma se pueden introducir los criterios ambientales en las licitaciones y además se debe hacer de forma «equitativa» en todos los países de la UE (es decir, respetando los principios básicos de publicidad y transparencia; no discriminación; proporcionalidad; objetividad y mutuo reconocimiento). Es por ello que, desde el año 2008, la Comisión ha desarrollado más de 20 criterios comunes para la CCPV. Estos criterios se han elaborado para ayudar a los órganos de contratación a identificar y contratar productos, servicios y obras más ecológicos así como para que puedan, de forma voluntaria, incorporarlos (todos los criterios o solamente algunos) directamente en sus documentos de licitación. También incluyen información sobre los métodos de verificación.

En concreto, en 2016 la Comisión (a través del *JRC*, *Joint Research Centre*) ha publicado un documento de trabajo que recoge los “Criterios de contratación pública ecológica para el diseño, la construcción y el mantenimiento de carreteras”, junto a una guía para facilitar su aplicación. El uso de estos criterios, que incluyen las fases de selección del adjudicatario, las especificaciones técnicas, el uso de la carretera, el mantenimiento y explotación y el fin de la vida útil de la infraestructura, es voluntario. En los documentos elaborados por la Comisión se explica cómo incluirlos en los pliegos de licitación. Para facilitar su inclusión, divide un mismo criterio en dos categorías: esencial y general. La primera de ellas, permite una aplicación sencilla de los criterios de Compra Pública Verde, concentrándose en áreas claves del rendimiento medioambiental del producto y en mantener los costes administrativos de las compañías bajos. La segunda va más allá, al tener en cuenta mayores niveles de rendimiento ambiental.

Por su impacto, influencia y relevancia sobre la economía y hábitos de la sociedad en su conjunto, la CCPV nos permite en consecuencia tomar conciencia de la importancia que tiene la consideración de los costes asociados al CV de un producto o servicio de construcción.

4. NECESIDADES Y RETOS

La Unión Europea, a la vista de los retos del cambio climático, lanza un mensaje claro estableciendo un marco político para avanzar en la senda del desarrollo sostenible (Comunicación de la Comisión de 13 de diciembre de 2005 relativa a la revisión de la Estrategia para un desarrollo sostenible [COM (2005) 658 fina]). Entre las medidas que contempla, y en relación con el tema que nos ocupa, merece la pena destacar la promoción de modos de producción y de consumo más sostenibles.

Los instrumentos para la consecución de este y otros objetivos relacionados con el desarrollo sostenible se centran fundamentalmente en la llamada sociedad del conocimiento, para lo que se ha de hacer hincapié en el ámbito de la educación y la formación del mayor número posible de ciudadanos, fomentando así mismo, la innovación científica. Otro instrumento que se revela de gran utilidad es de carácter económico, contribuyendo a la creación de un mercado con productos y servicios menos contaminantes y modificando el comportamiento de los consumidores. Para ello, entre otras medidas, los precios deberían reflejar los costes ambientales y sociales.

³ Estas Directivas están en proceso de transposición a nuestro ordenamiento jurídico (el plazo expiraba el 18 de abril de 2016) a través de un nuevo Proyecto de Ley de Contratos del Sector Público (LCSP). La situación, en el momento de escribir este artículo, es que el Consejo de Ministros acordó, el viernes 25 de noviembre de 2016, remitir a las Cortes Generales el Proyecto de LCSP por el que tendrá efecto tal transposición.

La Comisión Europea, consciente del impacto económico que tiene el gasto de los Estados en «bienes» (entiéndase como servicios, productos y obras)⁴, ha puesto su foco en la contratación y compra pública «verde», propiciando la adquisición de «bienes» con un reducido impacto ambiental, como mecanismo que incentive el desarrollo de productos y servicios verdes y que en definitiva contribuyan a la consecución de los objetivos de sostenibilidad que se han fijado.

Las Administraciones, por tanto, adquieren un rol fundamental y deben contribuir de forma activa en la materialización del desarrollo sostenible, elaborando estrategias nacionales, estableciendo medidas reglamentarias y haciendo uso de incentivos e instrumentos basados en el mercado para favorecer el desarrollo sostenible.

Surgen, pues, nuevas necesidades y retos asociados a la inclusión de las consideraciones ambientales en las políticas públicas que la Administración debe abordar de forma progresiva. Algunas de ellas, de carácter general, se refieren a continuación:

1. Concienciación

Dado lo reciente y novedoso de la utilización de las metodologías de ACV y CCV en nuestro país, dentro de los distintos órganos de la Administración no se tiene conciencia, a menudo, del verdadero potencial que representa su utilización. Igualmente, se ha de tomar conciencia de que el empleo de este tipo de metodologías por parte de la Administración es un utensilio que se muestra muy eficaz para que el sector privado adopte, como consecuencia, medios y estrategias de uso eficiente de los recursos, a la vez que respetuosos con el medioambiente.

2. Información

A esta necesidad de concienciación, se le añade la de conocimiento e información, por parte de las Administraciones Públicas, sobre qué metodologías emplear y cómo hacerlo adecuadamente, así como sobre la oportunidad o no de su empleo. Resultaría también muy conveniente que las Administraciones Públicas, a su vez, habiliten los canales de información necesarios para que el mercado conozca con la suficiente anticipación cuáles son las nuevas reglas de juego. Ello contribuiría a la necesaria adaptación del sector a los nuevos procedimientos.

3. Intercambio de conocimiento, colaboración, coordinación y apoyo

Estas necesidades de información y de concienciación tienen parte de su solución con la creación de formas de colaboración e intercambio de experiencias tanto entre Administraciones como entre éstas y el sector privado. Para ello resultaría de gran ayuda la creación, dentro de la Administración, de órganos horizontales de apoyo, asesoramiento y coordinación a nivel nacional en cada uno de los sectores de la actividad económica. Estos órganos

estarían formados por grupos multidisciplinares de expertos en las materias involucradas y, en particular, de las de carácter medioambiental.

Otro aspecto a tener en cuenta es la adecuada formación del personal público implicado en el uso de estas metodologías y de los datos sobre los que se sustentan, mediante jornadas y cursos. También a través de la elaboración de documentación y útiles específicos (guías, manuales, reglamentos, herramientas, campañas de difusión, etc.); incluyendo además textos dirigidos específicamente al sector privado.

Esta ayuda ya se está brindando en alguna medida y desde hace tiempo por la propia Comisión Europea a través de su página *web*⁵. No obstante, es fundamental que se refuerce desde las Administraciones de mayor ámbito, para dar un impulso a la implantación de estas metodologías en las Administraciones con menos recursos y capacidades, sobre todo ante «bienes» de notable entidad como son los del sector de la Construcción.

4. Elaboración y perfeccionamiento de metodologías

La realización de un estudio de ACV o CCV podría implicar un coste elevado por el tiempo y los recursos que requiere para llevarlo a cabo. Esto se debe en parte a la carencia inicial de metodologías y de procedimientos normalizados, si bien es cierto que a medida que se avance en su estudio y uso, la facilidad de aplicación se incrementará en gran medida. Sería por lo tanto aconsejable que desde los poderes públicos se promueva el desarrollo de herramientas específicas adecuadas que pudieran aplicarse en los casos requeridos. A ser posible, avanzando en la línea de la integración de las metodologías ACV y CCV y, en particular, incorporando más impactos en los costes de las externalidades.

5. Elaboración y perfeccionamiento de bases de datos

Igualmente, es fundamental disponer de bases de datos suficientemente fiables, actualizados, precisos y representativos para su utilización en las herramientas de ACV o CCV. Cabe destacar que diversas empresas, instituciones, organismos así como entidades públicas de la UE vienen alimentando sus bases de datos a partir de su serie histórica así como de investigaciones y estudios realizados al efecto.

No obstante, la adquisición y validación de estos datos no es fácil en sectores como el de las infraestructuras, en el que interviene, en la fase de construcción, una gran cantidad de diferentes materiales y procesos interrelacionados, además, entre sí, por lo que la disponibilidad así como la exactitud de los datos puede ser limitada. En otras etapas del ciclo de vida, como por ejemplo en la de mantenimiento, son necesarios datos a largo plazo, por lo que en ocasiones ni siquiera se dispone de ellos. En estos casos, ha de recurrirse a bases de datos específicas disponibles en el mercado aunque suponiendo un coste adicional no desdeñable.

En cualquiera de los casos, para el aseguramiento de la calidad de los datos a emplear, será indicada la intervención

⁴ El gasto de los gobiernos en obras, bienes y servicios representa en torno al 14% del PIB de la UE - EC (2015). "Public Procurement Indicators 2013".

⁵ <http://ec.europa.eu/environment/gpp/lcc.htm>.

de expertos en la materia, tanto en una potencial creación y/o alimentación continuada de una base de datos propia como en la actualización y validación de la información incorporada. Otro aspecto destacable en el que considerar su participación es en la potencial adaptación de la información obtenida de bases de datos externas a la realidad y circunstancias específicas particulares del proyecto.

6. Revisión crítica de los resultados

Otro aspecto a destacar es la necesidad de proceder a un análisis y revisión crítica posterior a la aplicación práctica de estas metodologías que vayan teniendo lugar, de forma detallada, periódica y continua; principalmente comparando los resultados reales con los que se estimaron o bien realizando análisis de sensibilidad de los parámetros que generen incertidumbre. De esta forma se podrá refinar, perfeccionar y actualizar tanto las metodologías como las herramientas y bases de datos que las pondrán en práctica. Estas tareas también suelen necesitar de la intervención de expertos.

A la vista de estas necesidades y retos, se quiere señalar que el CEDEX, como Organismo Público Autónomo de investigación, dedicado principalmente a tareas de asistencia técnica y multidisciplinar de alto nivel, a la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico en el ámbito de la ingeniería civil, la edificación y el medio ambiente, estaría capacitado para asumir el papel de «experto» en el apoyo técnico a las Administraciones Públicas españolas en las materias de ACV y CCV en el ámbito de la ingeniería civil, y en su aplicación específica a sus procedimientos de contratación.

En concreto, el CEDEX estaría en disposición de ofrecer asistencia técnica especializada para apoyar y asistir a las entidades públicas en las siguientes tareas:

- Organizando campañas, jornadas y cursos de formación así como elaborando documentos y útiles específicos (guías, manuales, reglamentos, herramientas, etc.) como instrumentos de concienciación, asesoramiento, instrucción, información y divulgación destinados a los distintos agentes implicados, públicos y privados, en función de sus necesidades específicas.
- Actuando como órgano de coordinación y de intercambio de experiencias entre Administraciones de los distintos ámbitos territoriales.
- Dando apoyo técnico en el desarrollo de normativa y metodologías.
- Participando en la aplicación práctica de estas metodologías (metodología a emplear, cómo hacerlo, si procede utilizarla, etc.).
- Elaborando, manteniendo y actualizando la Base de Datos de Inventario y/o adaptando la información obtenida de bases externas a las circunstancias específicas particulares locales.
- Asistiendo y/o participando en el proceso de adjudicación como personal independiente y multidisciplinar no integrado en el Órgano de Contratación.
- Analizando y revisando los procedimientos que vayan teniendo lugar para seguir perfeccionando metodologías, herramientas, bases de datos, etc.

En el campo de los firmes de carretera, el Centro de Estudios del Transporte (CET) del CEDEX está coordinando un grupo de trabajo de la Asociación Técnica de la Carretera, representante español de la AIPCR, constituido de forma expresa para la evaluación de estas cuestiones, en el que participa tanto la Administración como distintos representantes del sector privado. Dentro de este grupo, se está ultimando una Monografía que recopila el estado del arte actual de las diferentes metodologías y aplicaciones informáticas existentes para el cálculo de ACVF y del CCVF, así como sus principales aplicaciones en el sector de la carretera: el etiquetado y la certificación ambiental y la contratación y compra pública verde (CCPV). Como resultado de estos trabajos iniciales, se pone también de manifiesto que, aunque hay mucho hecho, queda un largo camino por recorrer y que, para avanzar en la introducción de las consideraciones ambientales en la construcción, mantenimiento y explotación de las carreteras, se debería comenzar por proponer una metodología adaptada a la realidad española, consensuada con los principales actores del sector, que sea de aplicación por las Administraciones Públicas.

5. BIBLIOGRAFÍA

Asociación Española de Normalización y de Certificación (AENOR):

- UNE-EN ISO 14020 (2002). *Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Principios generales (ISO 14020: 2000)*. AENOR. Octubre de 2002.
- UNE-EN ISO 14040 (2006). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006)*. AENOR. Diciembre de 2006.
- UNE-EN ISO 14044 (2006). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices (ISO 14044:2006)*. AENOR. Diciembre de 2006.
- UNE-EN 60300-3-3 (2009). *Gestión de la confiabilidad. Guía de aplicación. Cálculo del coste del ciclo de vida*. AENOR. Mayo de 2009.
- UNE-EN ISO 14025 (2010). *Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos (ISO 14025:2006)*. AENOR. Octubre de 2010.
- UNE-EN 15643-4 (2012). *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 4: Marco para la evaluación del comportamiento económico*. AENOR. Noviembre de 2012.
- UNE-EN 15804 (2012)+A1 (2014). *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción*. AENOR. Febrero de 2014.

Birgisdottir, H., Bhandar, G., Hauschild, M., y Christensen, T. (2007). *Life cycle assessment of disposal of residues from municipal solid waste incineration: Recycling of bottom ash in road construction or landfilling in Denmark evaluated in the ROAD-RES model*. Dinamarca. 2007.

Comisión Europea (UE):

- ¡Compras ecológicas! Manual sobre la contratación pública ecológica (2004). Unión Europea. 2004.

- Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo (2005), relativa a la *Revisión de la Estrategia para un desarrollo sostenible. Plataforma de acción*. COM (2005) 658 final. Unión Europea. 13 de diciembre de 2005.
- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones (2008), relativa a la *Contratación pública para un medio ambiente mejor*. COM (2008) 400 final. Unión Europea. 16 de julio de 2008.
- Comunicación de la Comisión (2010). *Europa 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*. COM (2010) 2020 final. Unión Europea. 3 de marzo de 2010.
- Reglamento Delegado (UE) N° 244/2012 (2012), de la Comisión Europea, relativo a la *Eficiencia energética de los edificios*. Unión Europea. 16 de enero de 2012 (DOUE - Diario Oficial de la UE de 21 de marzo de 2012).
- “Public Procurement Indicators 2013” (2015). *DG GROW G4 - Innovative and e-Procurement*. Unión Europea. 17 de Junio de 2015.
- Documento de trabajo de los servicios de la Comisión (2016). Criterios de contratación pública ecológica para el diseño, la construcción y el mantenimiento de carreteras. SWD(2016) 203 draft. Unión Europea. 10 de junio de 2016.

Comité Europeo de Normalización (CEN):

- prEN 15843-5 (2016). *Sustainability assessment of buildings and civil engineering works - Part 5: Framework for the assessment of sustainability performance of civil engineering works*. CEN. 2016.
- FprEN 15643-5 (2016). *Sustainability of construction works — Sustainability assessment of buildings and civil engineering works — Part 5: Framework on specific principles and requirement for civil engineering works*. CEN. 2016.
- CWA 17089:2016 (2016). Indicators for the sustainability assessment of roads. CEN/WS SUSTINROADS. *Sustainability assessment of roads*. CEN. 2016

Garbarino, E., Rodríguez, R., Donatello, S., Gama, M., y Wolf, O. (2016). Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance. *Technical report and criteria proposal*. Joint Research Centre (JRC). Junio de 2016.

García-Erviti, F., Armengot-Paradinas, J., y Ramírez-Pacheco, G. (2015). El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible. Estado de la cuestión. *Revista Informes de la Construcción*, Vol. 67 (n° 537), e056. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Häkkinen, T., y Mäkele, K. (1996). *Environmental adaptation of concrete – Environmental impact of concrete and asphalt pavements*. VTT Research notes 1752. Finlandia.

International Organization for Standardization (ISO):

- ISO 15686-5 (2008). *Edificaciones y bienes inmuebles construidos - Planificación de la vida útil. Parte 5: Coste del ciclo de vida*. ISO. Junio de 2008.
- ISO/TS 21929-2 (2015). *Sustainability in buildings and civil engineering works - Sustainability indicators - Part 2: Framework for the development of indicators for civil engineering Works*. ISO. Marzo de 2015.
- ISO/DIS 21930 (2016). *Sustainability in buildings and civil engineering works -- Core rules for environmental declaration of construction products and services used in any type of construction works*. ISO.
- Parlamento y Consejo Europeo (UE):
- Directiva 2009/33/CE (2009), del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la “Promoción de vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes”. Unión Europea. 23 de abril de 2009 (*DOUE - Diario Oficial de la UE* de 15 de mayo de 2009).
- Reglamento (UE) N° 305/2011 (2011), del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción. Unión Europea. 9 de marzo de 2011 (*DOUE - Diario Oficial de la UE* de 4 de abril de 2011).
- Directiva 2014/24/UE (2014), del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la “Contratación Pública”. Unión Europea. 26 de febrero de 2014 (*DOUE - Diario Oficial de la UE* de 28 de marzo de 2014).

Perera, O. (2010). *Procuring Green in the Public Sector: A check-list pfor getting started*. International Institute for Sustainable Development (IISD). Septiembre de 2010.

Rüdenauer, I., et al. (2007). *Costs and Benefits of Green Public Procurement in Europe. General Recommendations*. DG ENV.G.2/SER/2006/0097r - *Final Report*. Öko-Institut e.V. & (ICLEI), Friburgo (Alemania). 26 de julio de 2007.

Sánchez, A., y Perelli, M. (2016). Cálculo del Coste del Ciclo de Vida (CCV) en la contratación pública. Reflexiones desde las Administraciones públicas. *Revista Carreteras*, n° 205, pp. 38-51.

Santero, N., Masanet, E., y Horvath, A. (2010). *Life Cycle Assessment of Pavements: A Critical Review of Existing Literature and Research*. Portland Cement Association, Stokie, Illinois (EE UU), 24 de agosto de 2010.

Walls, J., y Smith, M. R. (1998). Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design. - In Search of Better Investment Decisions. *Pavement Division Interim Technical Bulletin*. Publication n°. FHWA-SA-98-079. Federal Highway Administration (FHWA) (EE UU). Septiembre de 1998.

Walls, J., y Smith, M. R. (1998). Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design. - In Search of Better Investment Decisions. *Pavement Division Interim Technical Bulletin*. Publication n°. FHWA-SA-98-079. Federal Highway Administration (FHWA) (EE UU). Septiembre de 1998.