

El Pavimento de Hormigón. Un Camino Sustentable

(Trabajo presentado en el I Congreso Hormigón Premezclado de las Américas 2010)

Autores: Brunatti, C.* , Fernandez Luco, L. **

(*) ICPA - Instituto del Cemento Portland Argentino

(**) INTECIN – Facultad de Ingeniería - UBA

Introducción

La integración del concepto de sustentabilidad a la construcción de infraestructura en general y caminos, en particular, es una demanda de la sociedad y, lentamente comienza a esbozarse una metodología de valoración del perfil de sustentabilidad de las soluciones propuestas.

Este perfil puede definirse para un material en particular o para un elemento constructivo, pero existe consenso en que los lineamientos a seguir deberían articularse con la propuesta del Comité 207 ISO para el análisis de ciclo de vida [1]

Sin quitarle importancia a la necesidad de un análisis que contemple todo el ciclo de vida, el concepto de sustentabilidad excede este enfoque y es necesario evolucionar en la valoración de la sustentabilidad de materiales y productos. En los párrafos que siguen, se introducen los conceptos rectores que definen la sustentabilidad y se presentan distintas propuestas para cubrir la transición hacia la efectiva aplicación en la ejecución de pavimentos.

Visión actual de la sustentabilidad

A partir de la Cumbre de Río de Janeiro (1982), se comenzó a modificar, el paradigma acerca del Ambiente y cada vez más, ese concepto se fue ampliando hasta hoy verse integrado en un término más abarcativo que se denomina Sustentabilidad.

En el presente, se acepta que el “Desarrollo sustentable es aquél que satisface las necesidades del presente sin comprometer la posibilidad de las futuras generaciones de satisfacer las propias” (WCED 1987), es decir, los seres humanos son el foco de preocupación para el Desarrollo Sustentable.

En consecuencia, es frecuente mantener la propuesta de Elkington (1994) para expresar a la sustentabilidad como la intersección de tres áreas: una vinculada con el desarrollo y equidad social, otra con el desarrollo económico y la tercera, con la protección del ambiente, según se muestra en la Fig. 1.

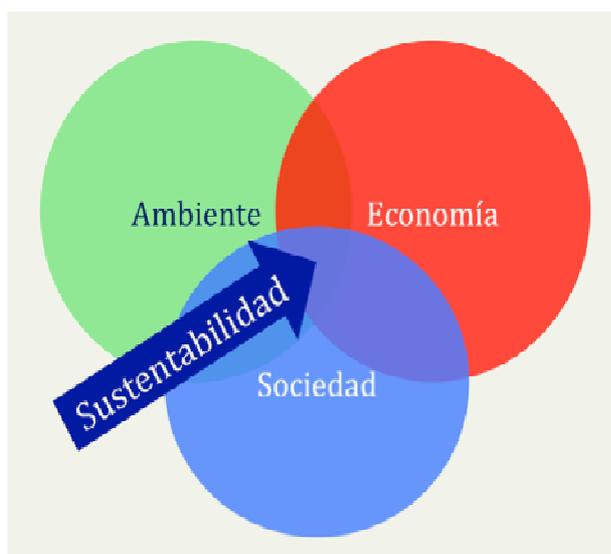


Fig. 1: Esquema de la sustentabilidad como la satisfacción simultánea de aspectos económicos, sociales y de protección del ambiente.

- **Equidad social**, es decir, lograr una mejora del bienestar económico y la calidad de vida del mundo en desarrollo.
- **Crecimiento económico**, que está ligado a una economía de recursos eficiente, la innovativa social y ambientalmente, que mejore la calidad de vida del mundo
- **Protección del ambiente**, que cual implica un uso adecuado y la conservación de los recursos naturales, sobre todo los no renovables.

La vinculación de la construcción de caminos con la sustentabilidad es evidente, si tenemos en cuenta que una carretera **durable y de bajo mantenimiento (ambiente)**, no solamente sirve al **transporte público o privado (sociedad)** sino que es vital para el **transporte de bienes (economía)**, o sea conjugan las tres vertientes de la Sustentabilidad. Esta idea se expone de manera más detallada más adelante en este trabajo.

La construcción de caminos y la sustentabilidad

Uno de los errores frecuentes que se comete al considerar el impacto de la construcción de caminos sobre la sustentabilidad es limitarse a evaluar los impactos negativos sobre el ambiente, adoptando quizás el enfoque más tradicional asociado con las evaluaciones de impacto ambiental. Martínez Orozco [2] informa sobre la participación de la infraestructura de transporte en las evaluaciones de impacto ambiental realizadas en Europa, a partir de la Directiva Europea 97/11/ CEE, y muestra que su participación es significativa, como se ilustra en la Fig. 2., dependiendo de la importancia relativa regional de distintos tipos de industria.

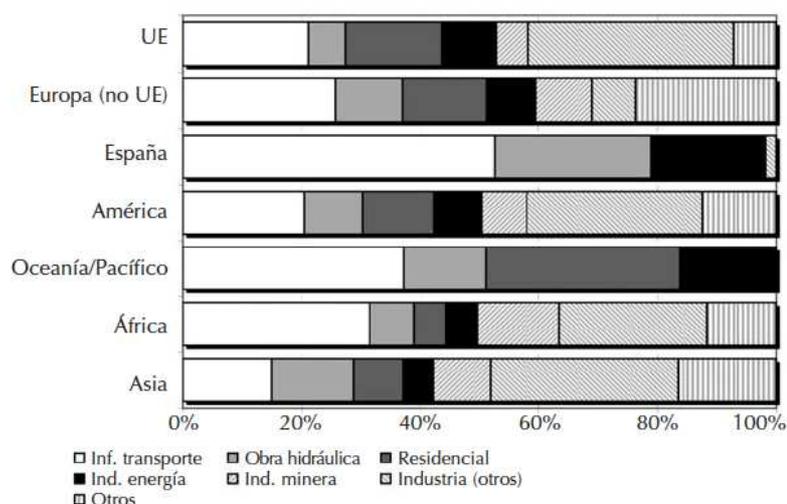


Fig. 2: Distribución de las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) según grandes familias de proyectos (de acuerdo con la Directiva Europea 97/11/ CEE)

El perfil de sustentabilidad excede en mucho a la mera evaluación de impacto ambiental, porque debe incluirse en el análisis los aspectos sociales y económicos, considerando el ciclo de vida de la estructura o material, no solamente la etapa de construcción.

Así lo entiende Vázquez Espí, M. [3], refiriéndose a la construcción en general e indica que el análisis debe extenderse al ciclo de vida (ACV), que “utiliza la agregación de costes desde “la cuna hasta la tumba” (costes de extracción, fabricación, producción y transporte de los elementos, coste de mantenimiento durante la vida útil y coste de abatimiento de los residuos hasta un estado “inerte”, no contaminante)”.

Pero incluso un análisis de ciclo de vida resulta insuficiente para cuantificar el perfil de sustentabilidad de una construcción en general, o de caminos en particular, como sugiere Burón Maestro, M., et al. [4]. El perfil sustentable debe surgir de un balance de consumos (gastos menos ahorros) y de impacto ambiental (deterioros menos correcciones) necesarios para la producción de las materias primas, para la elaboración del producto como tal, para la utilización de dicho producto final por parte de los usuarios a lo largo de la vida útil de aquél, para reducir a residuos, y deshacerse de los mismos, el citado producto final ya obsoleto e inservible.

La expresión general empleada por Burón Maestro et al. [4], cuando se refiere a “gastos menos ahorros” o “deterioros menos correcciones” y la inclusión del usuario como beneficiario directo de la mejora en la infraestructura se acerca mucho más al concepto actual de sustentabilidad, según se discutió antes en este trabajo.

Porque es indudable que la generación de infraestructura o la mejora de la existente, en particular en el caso de los caminos, tiene beneficios directos para el usuario, reduciendo los tiempos de tránsito, mejorando la seguridad en la circulación, reduciendo la siniestralidad y fomentando el desarrollo de las regiones vinculadas por la infraestructura nueva o mejorada. Esta paradoja ya fue señalada por Aguiló, M [5] al comentar, sin cierta ironía, que “la percepción social de la ingeniería ha pasado de significar progreso a propiciar conflictos en función de su impacto medioambiental

Skarendall, A [6] también coincide en este enfoque, indicando que “la planificación urbana, el ambiente construido y la infraestructura son críticos para el crecimiento de las ciudades, regiones y países, para la competitividad de la economía y para la vida cultural, social y económica de sus habitantes.” Esta opinión se refuerza con la declaración de la visión para

la ingeniería civil definida en la Cumbre 2006 sobre el futuro de la Ingeniería Civil 2025, de la American Society of Civil Engineering (ASCE) que establece que los “ingenieros civiles son los depositarios, por parte de la sociedad, para crear un mundo sustentable y mejorar la calidad global de vida”

Cuando están concebidas adecuadamente, las carreteras sustentables hacen un uso eficiente de los recursos naturales y respetan el ambiente durante su vida en servicio (ciclo de vida), permiten mejorar el transporte entre comunidades, brindando servicios a la sociedad en términos de movilidad, seguridad y comodidad mediante elecciones juiciosas sobre el diseño, la construcción, el mantenimiento, la demolición y el reciclado final, para volver a empezar el ciclo una vez más.

Por todo lo antes expuesto, una valoración correcta del perfil de sustentabilidad de la construcción de caminos sólo debería llevarse a cabo si se contabilizan todos los aspectos involucrados en el concepto de sustentabilidad: los aspectos sociales, los ambientales y los económicos, valorados en todo el ciclo de vida de la estructura y de los materiales que la componen.

Negar la contribución positiva de las nuevas infraestructuras viales (o el mejoramiento de las existentes) a la calidad de vida constituiría una necedad, y estos aspectos positivos difícilmente se encuentren en la valoración global del “impacto”.

Valoración del perfil de sustentabilidad de un camino

Antes de proceder a la valoración del perfil de sustentabilidad de un camino, es preciso indicar que, con frecuencia, las tres consideraciones que constituyen el concepto de sustentabilidad pueden competir entre sí, como sugieren Van Dam, T. & Taylor, P. [7] Por ejemplo, si se construyen carriles más estrechos, se reducen los costos (cumpliendo un objetivo económico), así como se disminuye el consume de recursos (objetivo ambiental), pero pueden conducir a una mayor tasa de accidentes y menor capacidad de circulación, afectando negativamente a los costos sociales y económicos. Una solución sustentable será aquella que, lejos de buscar la optimización simultánea de los tres aspectos, los balancee adecuadamente.

Muchas de las características del hormigón y las prácticas habituales relacionadas con los pavimentos de hormigón pueden aprovecharse para mejorar su sustentabilidad. Al respecto [7], los pavimentos de hormigón presentan las siguientes características:

- Tienen larga vida (generalmente 30 años o más) y no requieren mantenimiento frecuente
- Son lisos, silenciosos (menos de 98 dB, según Rasmussen et al. - 2008), y seguros
- Ofrecen poca resistencia a la rodadura, reduciendo el consumo de combustible (Athena, 2009)
- Presentan coloración clara, mejorando la visibilidad y reduciendo la demanda de iluminación, ayudando simultáneamente a un control del calentamiento global en forma indirecta (GEI). Además, se mejora la visibilidad de los usuarios y brinda mayor seguridad en áreas pobremente iluminadas.
- Pueden incorporar volúmenes significativos de residuos industriales en su construcción, reduciendo el uso de recursos no renovables
- Son reciclables
- Pueden construirse rápida y eficientemente
- Por su costo inicial competitivo y la larga vida útil, tiene un costo de vida relativamente bajo
- Una vez construidos, tienen un impacto limitado sobre el ambiente

- Son amigables con la comunidad, con adecuado aspecto estético y su superficie reflectiva minimiza la concentración de calor en ciudades

A pesar de estas características, todas positivas, no es sencillo realizar una valoración cuantitativa del perfil sustentable. Por el contrario, es un proceso extremadamente complejo y aún se discuten cuáles serían los procedimientos adecuados. A continuación, se describen brevemente los parámetros o factores económicos, ambientales y sociales que, a priori, aparecen como las contribuciones más críticas al perfil de sustentabilidad, y que se corresponden con las etapas en que se divide el ciclo de vida, según se esquematiza en la Fig. 3.

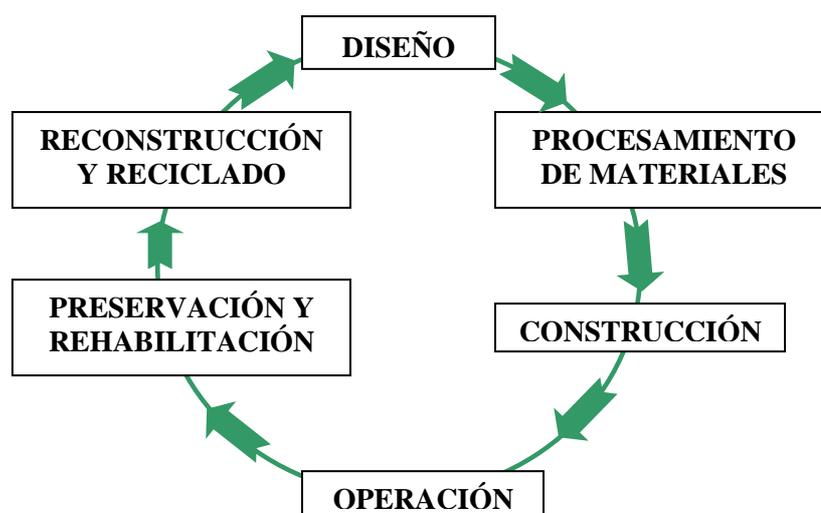


Fig. 3: Esquema de ciclo de vida para un pavimento de hormigón

Cualquiera sea la metodología implementada, puede usarse con diferentes objetivos:

- a) decidir sobre la construcción de una infraestructura determinada
- b) establecer referencias sobre las prácticas habituales y valorar la eficacia de las mejoras que se implementen
- c) comparar diferentes sistemas constructivos
- d) estimar los beneficios de enfoques alternativos de diseño, selección de materiales, etc.

Al presente, aunque se han identificado distintos parámetros económicos y algunos ambientales, no existe consenso sobre los aspectos sociales y no se dispone de herramientas para medirlos.

Los distintos enfoques pueden agruparse en dos sistemas primarios: aquéllos que se basan en una clasificación por puntaje (ranking), contemplando parámetros/indicadores y coeficientes de ponderación y los que contemplan un análisis completo y exhaustivo de los impactos durante el ciclo de vida (LCEA). Un ejemplo de este último caso lo aporta ISO [1], aunque se limita a establecer el marco de referencia sin proveer técnicas específicas o metodologías apropiadas a cada fase del LCEA. En consecuencia, distintas instituciones han desarrollado metodologías propias, entre las que se destaca el Athena Institute (2009), BASF (2009) y The Right Environment (2009). El trabajo de la PCA con el objetivo de desarrollar un “inventario de ciclo de vida (LCI) del hormigón de cemento portland también sigue los lineamientos de la ISO 14040:2006.

A partir de esos antecedentes, en las Tablas 1 y 2 se muestran algunos de los parámetros que se recomienda para evaluar el impacto ambiental y social, respectivamente.

Tabla 1: Aspectos ambientales

Parámetro / Indicador	Descripción sumaria
Energía primaria	Energía necesaria para la recolección de materias primas o para la fabricación de un producto y su transporte hasta el punto de uso.
Emisiones / contribución al calentamiento global	CO ₂ , metano, NO _x , cloro-fluorocarbonos, aerosoles, etc. Se suele emplear el CO ₂ equivalente / Emisión de material particulado
Toxicidad potencial	Compuestos emitidos por el sistema del pavimento – Efectos sobre el hombre, animales y plantas (según ISO 14040)
Consumo de materias primas	Es un ítem significativo por su participación volumétrica, tanto para el hormigón como para las bases. Se debe fomentar el uso de materiales reciclados
Generación de residuos	La cantidad y naturaleza de residuos generados, en el ciclo de vida, es un indicador de la sustentabilidad - Reciclabilidad

Siguiendo un esquema similar, pueden identificarse parámetros sociales, como se muestra en la Tabla siguiente

Tabla 2: Aspectos sociales

Parámetro / Indicador	Descripción sumaria
Movilidad de personas y bienes	Esencial para posibilitar el desplazamiento de personas, bienes y servicios, con eficiencia y seguridad
Efecto sobre las comunidades	Reducción en la emisión de gases y material particulado. Reducción de ruido – Calidad estética – Valorización del suelo y de lo construido
Seguridad	Parámetro social esencial – Ancho de calzada – Lisura – Rugosidad (fricción) – Válido para automovilistas y peatones
Tiempo de tránsito	Reducción de congestión – Reducción del stress en los conductores – Generación de gases y contaminación – Mínimo mantenimiento que asegura la operabilidad del camino.
Emisión de ruido	Nivel de ruido – Ejecución de barreras – Texturas abiertas
Energía	Reducciones leves en el consumo de combustible se potencian por efecto del alto tráfico – Reflectividad del pavimento - Seguridad

Existe consenso en que es necesario incrementar la investigación y el desarrollo en aspectos prioritarios como los siguientes materiales, diseño, prácticas constructivas, preservación, rehabilitación y reciclado, análisis de costos en ciclo de vida, análisis de impacto ambiental en ciclo de vida, parametrización de los aspectos sociales, etc. (www.cproadmap.org/publications/track13CSframing.pdf):

Aspectos económicos

La evaluación de los aspectos económicos asociados con un pavimento en general y de hormigón en particular, debería realizarse para el ciclo de vida del pavimento, considerando no sólo el costo de ejecución, sino también el costo de mantenimiento y uso.

La prolongada durabilidad de los pavimentos de hormigón, sumado a su bajo mantenimiento, condiciona a que éstos tengan muy buen desempeño comparado en este sentido.

El tráfico en sí es una variable que influye aproximadamente 10 veces más que el resto y de ahí su gran peso, por lo cual se hace necesario tomar medidas con el objeto de reducir el consumo de combustibles tradicionales. Al respecto, la contribución de los pavimentos de hormigón es relevante, porque provee una superficie de calidad y rigidez, con menor resistencia a la rodadura, pero suficiente fricción para brindar seguridad.

¿Cómo se integran estos aspectos en la valoración de la sustentabilidad de una solución?

Como se indicó antes, hay dos enfoques: el de otorgar un puntaje a cada parámetro/indicador, para estructurar un ranking según la puntuación final y el de la realización de un análisis completo durante el ciclo de vida.

Para la segunda alternativa, aunque más racional, no se dispone todavía de las herramientas adecuadas, ni de la información necesaria para llevar a cabo el análisis, y los intentos de efectuar una valoración del perfil de sustentabilidad han seguido la primera, esto es, mediante el otorgamiento de puntajes.

Según Burón Maestro, M. [4], podría operarse de una manera sencilla sumando todos los consumos e impactos y dividiéndolos por la vida útil en que el producto final considerado ha servido a la sociedad (Cuanto menor es este valor mayor es la sostenibilidad de la actividad o del producto evaluado).

Tras aplicar el mismo procedimiento de evaluación desde cada uno de los aspectos considerados en la sostenibilidad (sociales, económicos, ambientales) y utilizando los coeficientes de ponderación necesarios que permitan, como si de unidades homogéneas se tratara, operar con los diferentes índices parciales de sostenibilidad, se obtiene un valor total, o agregado, que es el índice de sostenibilidad o índice que cuantifica la sostenibilidad del producto final evaluado.

En consecuencia, no sólo es necesario llegar a un consenso sobre los parámetros indicadores para cada uno de los aspectos contemplados en la sustentabilidad, sino que también es imprescindible acordar los coeficientes de ponderación que se apliquen a cada uno de estos índices, que conducen a la valoración de la sustentabilidad mediante la combinación lineal de los parámetros.

Estos coeficientes de ponderación deberían adecuarse a las prioridades regionales y también pueden adoptarse esquemas progresivos, para inducir un cambio paulatino hacia soluciones más sustentables y permitir la adecuación de métodos, instalaciones y procesos.

Necesidad de incentivar la I+D+i

Del análisis previo, se identifica la necesidad de incentivar la investigación, desarrollo e innovación para avanzar hacia soluciones más sustentables, entre las que cabe mencionar [7]

- Desarrollo de materiales avanzados y procesos que optimicen la reutilización y conservación de recursos y energía, reduciendo los residuos y contaminantes durante todas las etapas del ciclo de vida de los pavimentos
- Creación de diseños innovadores que permitan un mejor aprovechamiento de las cualidades de los pavimentos de hormigón, mejorando aún más su sustentabilidad
- Generación de prácticas constructivas más eficientes y de menor impacto económico y social
- Aplicación de estrategias de preservación, rehabilitación y reciclado
- Refinamiento de los análisis de costo en ciclo de vida que pongan en valor las ventajas económicas asociadas con la construcción de pavimentos de hormigón.
- Recopilación de datos necesarios para completar el inventario de ciclo de vida del hormigón, tendiente a la adopción de esquemas reconocidos internacionalmente para una evaluación ambiental en el ciclo de vida (LCEA)
- Identificación y cuantificación de los impactos sociales, tanto positivos como negativos, que integran el proceso de evaluación.

De manera complementaria, pero no menos importante, se debería modificar la visión de la ingeniería como disciplina que no contribuye positivamente a la sustentabilidad global, poniendo en evidencia y difundiendo prácticas correctas y un enfoque conceptual comprometido con el tema.

Conclusiones

A partir de lo expuesto anteriormente, es posible extraer las siguientes conclusiones:

- Es prioritario mejorar la visión de la ingeniería civil, y en particular, la ingeniería vial en lo que respecta a la sustentabilidad de las soluciones que ofrece, poniendo en valor todas las ventajas sociales y económicas asociadas.
- El hormigón constituye una alternativa que progresivamente se orienta a soluciones más sustentables por su prolongada vida útil, bajo mantenimiento, seguridad en el tránsito, mejor reflectancia de luz y calor, reciclabilidad, ausencia de toxicidad, etc.
- La emisión de gases de efecto invernadero asociada con los pavimentos de hormigón y producción de cementos se ha reducido en las últimas décadas con las mejoras tecnológicas y la sustitución parcial de clinker por adiciones, aspecto que se suma a conceptos novedosos como el efecto sumidero y la posibilidad de diseñar hormigones autolimpiantes y que mejoran la calidad del aire.
- Se debe procurar que la selección de la mejor alternativa para una obra nueva, rehabilitación o reconstrucción se realice a partir de una evaluación integral del perfil sustentable, para lo que es necesario diseñar métodos y procedimientos consensuados, basados en análisis completos en ciclo de vida de la estructura o el material.
- Es necesario incentivar la investigación y desarrollo sobre diferentes aspectos vinculados con la sustentabilidad para disponer de la información y recursos necesarios para completar las evaluaciones con éxito e identificar prácticas más convenientes.

Referencias

- [1] ISO. (1997) *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. ISO 14040. The International Organization for Standardization, Geneva.
- [2] Martínez Orozco, J. M. "El sistema español de evaluación de impacto ambiental: nuestra posición en el mundo" *Informes de la Construcción*, Vol. 58, 504, 29-38, octubre-

diciembre 2006. ISSN: 0020-0883

- [3] Vázquez Espí, M. "Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la Tierra y otros materiales", Informes de la Construcción, Vol. 52, nº 471, enero/febrero 2001.
- [4] Burón Maestro, M., Jofré Ibáñez, C. "Sostenibilidad de las Carreteras y de las Estructuras de Hormigón", Cemento – Hormigón, ISSN: 0008-8919, Vol. 923, Enero 2009, pp. 36-47 (2009).
- [5] Aguiló, M. "De factor de progreso, al impacto ambiental y al conflicto mediático", Informes de la Construcción, Vol. 57. Nº 499-500, septiembre-octubre/noviembre-diciembre 2005, pp. 87-96 (2005)
- [6] Skarendall, A., "International approach for a creative construction sector", Sustainability – Journal from the Swedish Research Council Formas", Vol. 3, junio 2010 - <http://sustainability.formas.se/en/Issues/Issue-3-June-2010/>
- [7] Van Dam, T. & Taylor, P. "Building Sustainable Pavements with Concrete – Briefing Document", CP Road Map, www.cproadmap.org/index.cfm. (2009)