



75° Aniversario

1940 - 2015

PAVIMENTOS SOSTENIBLES

Ing. Carlos Brunatti



Santa Fe, 3 y 4 de Junio de 2015



CÁMARA ARGENTINA
DE LA CONSTRUCCIÓN
DELEGACIÓN CIUDAD DE SANTA FE

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE VIALIDAD
SANTA FE



Consideraciones generales

La economía de un país, depende de la infraestructura del transporte.

Se transportan materiales, productos, pasajeros a través de las rutas y caminos, cada día.

Sin esa infraestructura de transporte, no se estaría en presencia de una sociedad productiva.



Consideraciones generales

Toda la red de caminos, carreteras, corredores viales, áreas de estacionamiento, tienen un impacto en el ambiente.

Los vehículos que por ellos circulan, emplean energía, emiten gases de efecto invernadero, y esto coloca una carga en el ecosistema circundante.



Consideraciones generales

Los pavimentos deben tener una larga vida en servicio y requerir escaso mantenimiento. De esta manera, se minimiza el uso de energía y se mitiga la emisión de Gases de Efecto Invernadero. Se debe ser eficiente a la hora de emplear recursos preferentemente locales, y reciclar materiales.



Consideraciones generales

El transporte por carreteras contribuye enormemente a las emisiones de CO₂, el principal Gas de Efecto Invernadero y por eso, es importante tratar este tema, con referencia a los vehículos pesados, por ejemplo, camiones, ómnibus, etc.

Desde el punto de vista de los vehículos se estudian alternativas como vehículos híbridos o eléctricos.



Consideraciones generales

Estas soluciones son de largo plazo, mientras que una reducción potencial de las emisiones de CO₂ se puede encarar desde el punto de vista del diseño y la construcción de los pavimentos, lo que puede establecer una diferencia actualmente.



Consideraciones generales

Los hallazgos refieren que los pavimentos rígidos reducen en forma marcada el consumo de combustibles. Los resultados se basan en un principio físico, en que la resistencia a la rodadura entre una rueda y una superficie disminuye de acuerdo con la rigidez y la dureza de ambos.

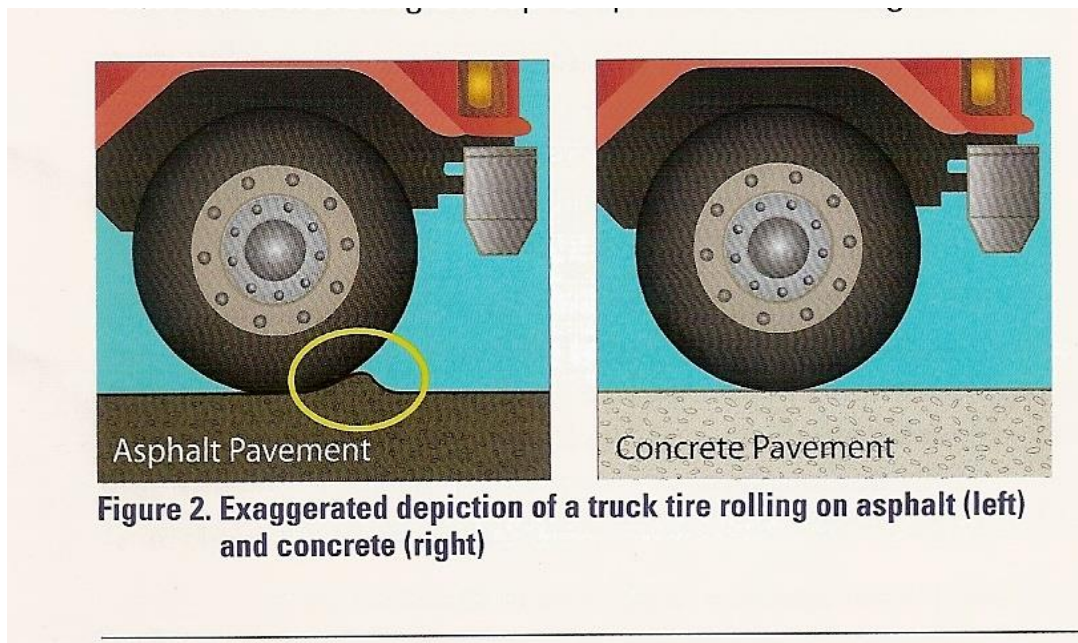


Consideraciones generales

Se emplea el término estabilidad del perfil para describir la habilidad de la superficie del pavimento de resistir las deformaciones y deflexiones provocadas por una carga sostenida y repetida.

A diferencia del asfalto que es un material viscoelástico y por ello sensible a las cargas y a la temperatura, la superficie rígida de un pavimento de hormigón no se deforma bajo cargas pesadas y por lo tanto, deflexiona menos.

Consideraciones generales





Consideraciones generales

Un vehículo que se traslada sobre un pavimento más flexible absorbe parte de la energía de él, que de otra manera estaría disponible para impulsarlo hacia delante requiriendo, por lo tanto, más combustible.



Consideraciones generales

Esto no solamente mejora las condiciones de hidroplaneo sino que también impacta en el consumo de combustibles.

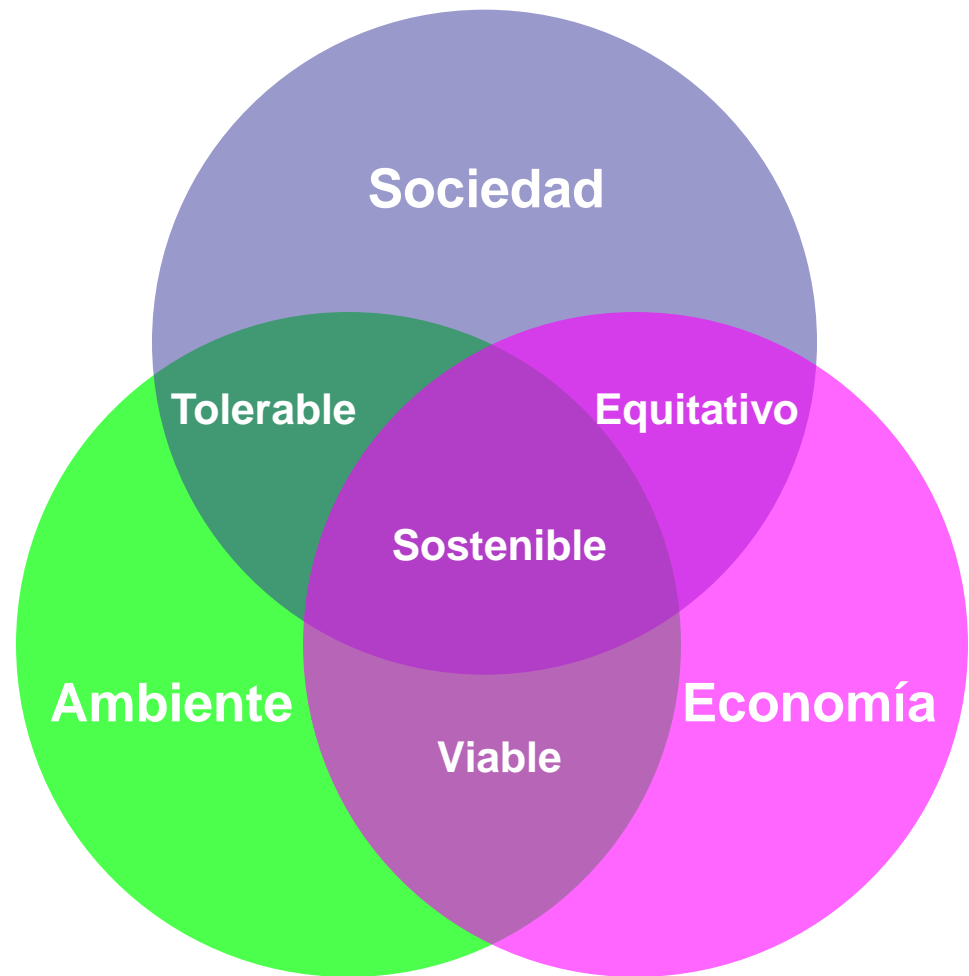
Cualquier deflexión absorbe parte de la energía que de otra manera estaría disponible para propulsar el vehículo, y en este caso se produce un menor consumo de combustibles, que a su vez, genera una menor emisión de Gases de Efecto Invernadero.

Sostenibilidad

- Característica según la cual pueden satisfacerse las necesidades de la población actual y local sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras o de poblaciones de otras regiones de satisfacer las propias.
- El **uso sostenible de un ecosistema** se refiere al empleo que los humanos hacemos de los recursos naturales de forma que este produzca un beneficio continuo para las generaciones actuales siempre que se mantenga su potencial para satisfacer las necesidades y aspiraciones de las futuras.

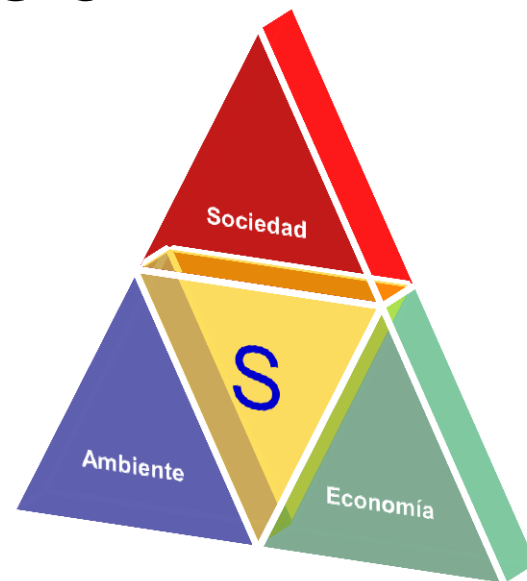
Desarrollo Sostenible

- Se definen proyectos viables desde los aspectos económicos, sociales y ambientales de las actividades humanas.
- Deben establecerse indicadores de desempeño del triple efecto entre el bienestar social, el ambiente y el resultado económico.

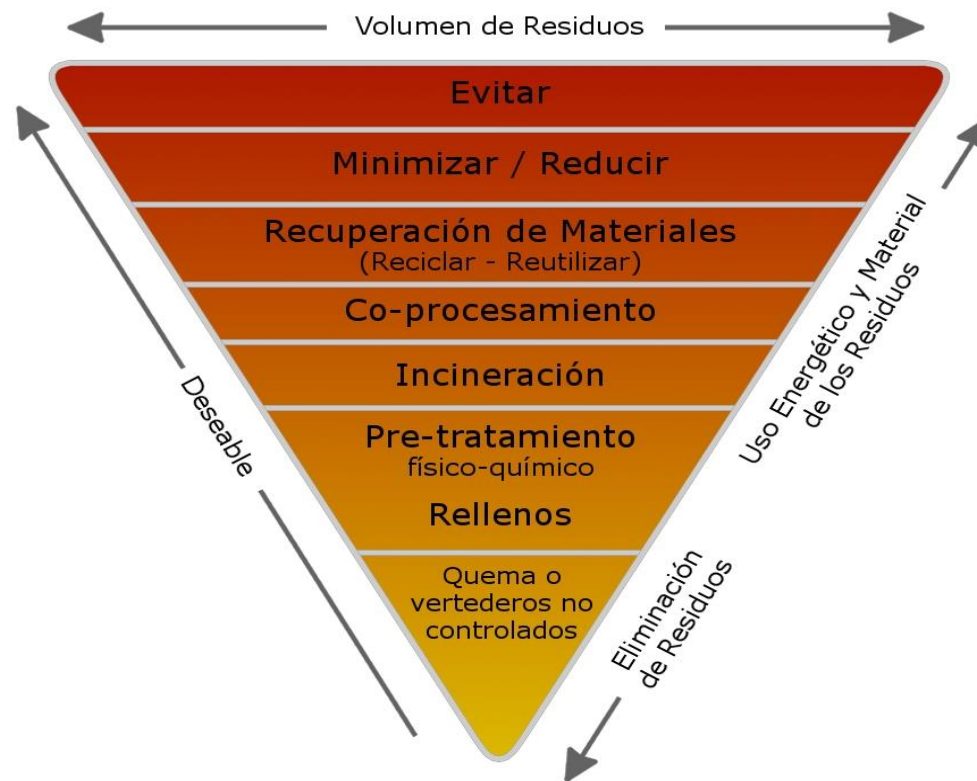


Sostenibilidad



- Los tres componentes deben permanecer equilibrados entre ellos, balanceados adecuadamente.
- La misión del ingeniero o del arquitecto es construir sin generar impacto negativo sobre el ambiente y la sociedad.
- De ahí, que aparecen los términos “amigable” o “verde”.

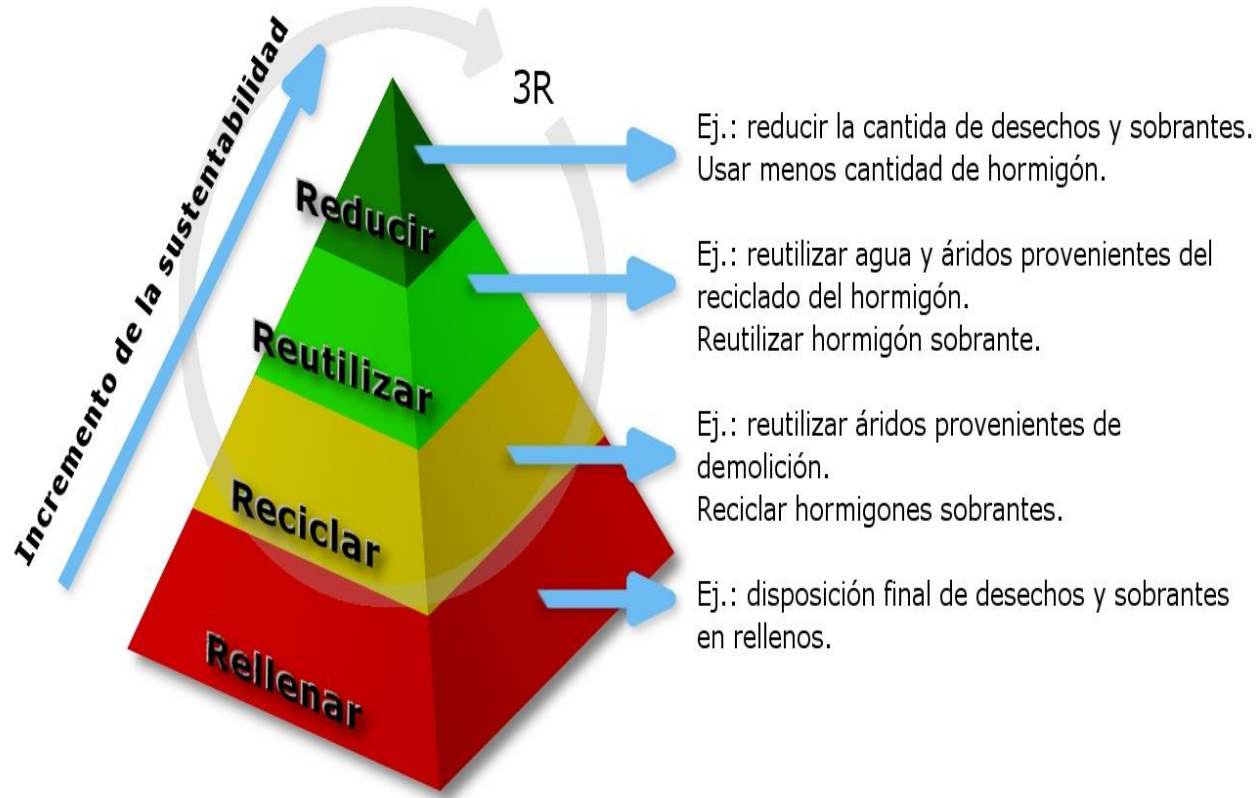


Acciones de Sostenibilidad





1 Mixer	Emisión de CO ₂		Árboles necesarios para absorber ese CO ₂ en un año
Hormigón Convencional	Mayor emisión de CO ₂	➔	
Hormigón Sustentable	Menor emisión de CO ₂	➔	 -20 / 40



Obtención de Hormigón “Verde”

Uso de agregados Locales. Reduce emisiones por el transporte



Empleo de Adiciones / Reducción del Factor Clinker



Uso de vehículos más eficientes para el transporte



Resultado: Hormigón de elevada calidad y menor emisión de CO₂

Hormigón reciclado como agregado



Reciclado y recuperación de aguas

Material	kg de CO ₂ emitido por tonelada de cada material	Hormigón tradicional		Hormigón "verde"	
		Cantidad por m ³ de hormigó n	kg de CO ₂ emitido por m ³ de H ^o	Cantidad por m ³ de hormigó n	kg de CO ₂ emitido por m ³ de H ^o
Cemento	1000	320	320	150	150
Escoria Alto Horno	630		0	90	57
Cenizas Volantes	0		0	70	0
Humos de Sílice	0		0	10	0
Agregado grueso natural	135	1100	149	770	104
Escoria enfriada al aire	80		0	330	26
Agregado fino natural	63	800	50	560	35
Arena de escoria	80		0	240	19
Aditivo	0,21	2,5	0,0005	2,5	0,0005
Agua	0	180	0	0	0
Agua reciclada	0		0	180	0
Total		2402,5	519	2402,5	392



Energía incorporada

Se refiere a la necesaria para extraer, procesar y preparar el material pretendido, existiendo una correlación entre el número y tipo de etapas involucradas en los procesos y la incorporada por el material. Abarca todo lo referente al ciclo de vida del pavimento.



Sostenibilidad

Según el concepto desarrollado por Brundtland, es trabajar con responsabilidad y protección, pensando en las generaciones futuras.

El mundo está cambiando a una velocidad nunca vista y ahora se valora más el futuro que en tiempo pasado.



Beneficios sociales

Se reducen: las emisiones de GEI y la dependencia del petróleo.

Se ahorra combustible y se minimiza el CO₂ a partir de su menor uso.

Se disminuye la huella de C.

Se reduce la congestión del tráfico y por eso, no se demora el envío de bienes.

Se emplea menor cantidad de energía.



Beneficios sociales

Se evita colocar materiales en rellenos sanitarios, pues se lo puede reciclar y con ello, se ahorran recursos no renovables, al disminuir la demanda de materiales vírgenes.

Se ayuda a bajar la temperatura del ambiente.

Se gana en economía.

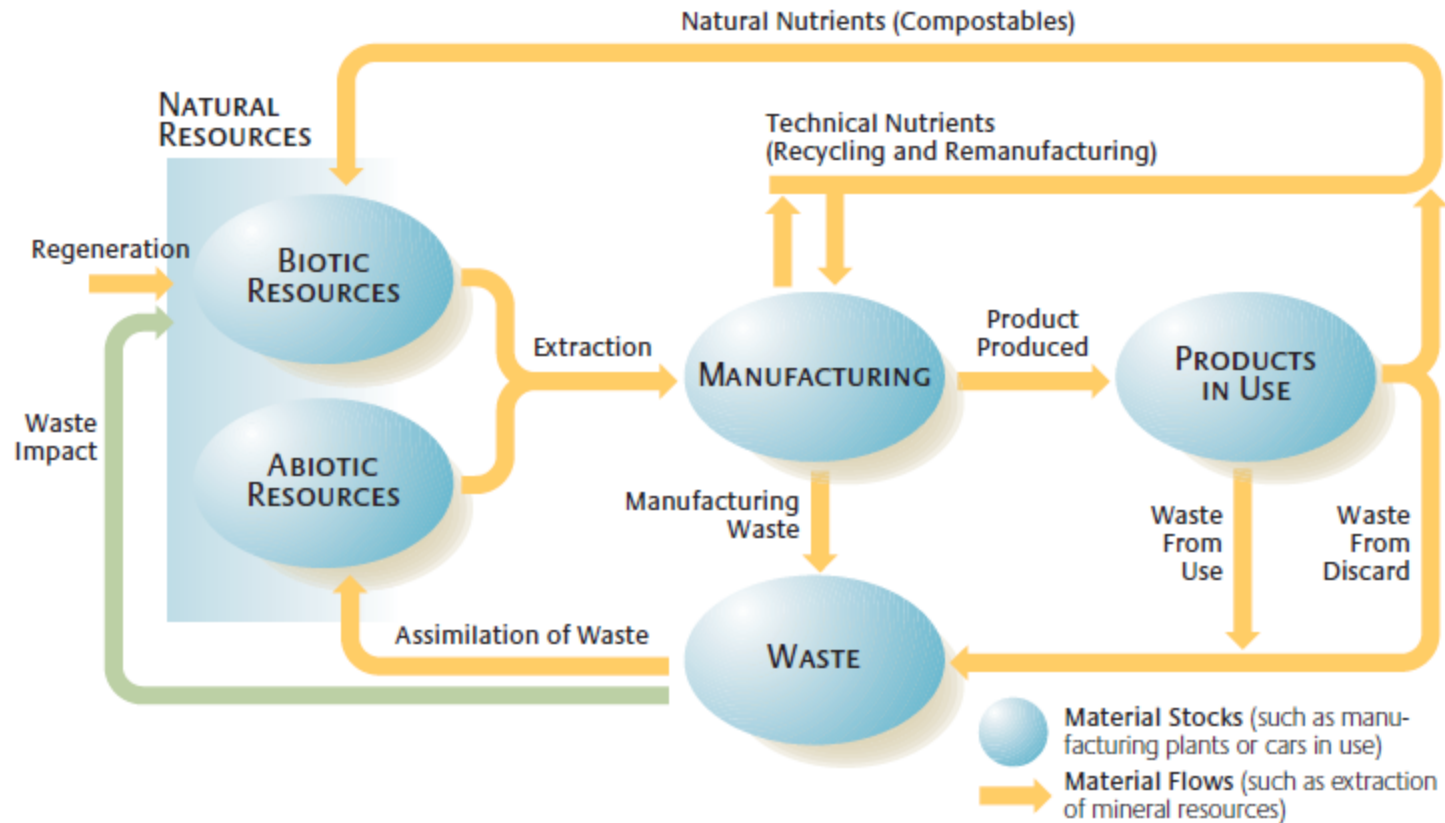


Economía tradicional

Se ha basado en recursos materiales y energía, no regenerativos (extracción), producción (ineficiencias) y generación de residuos durante ella y crecimiento económico orientado al consumo de productos y servicios.

Es de naturaleza lineal.

Economía circular regenerativa



Economía tradicional

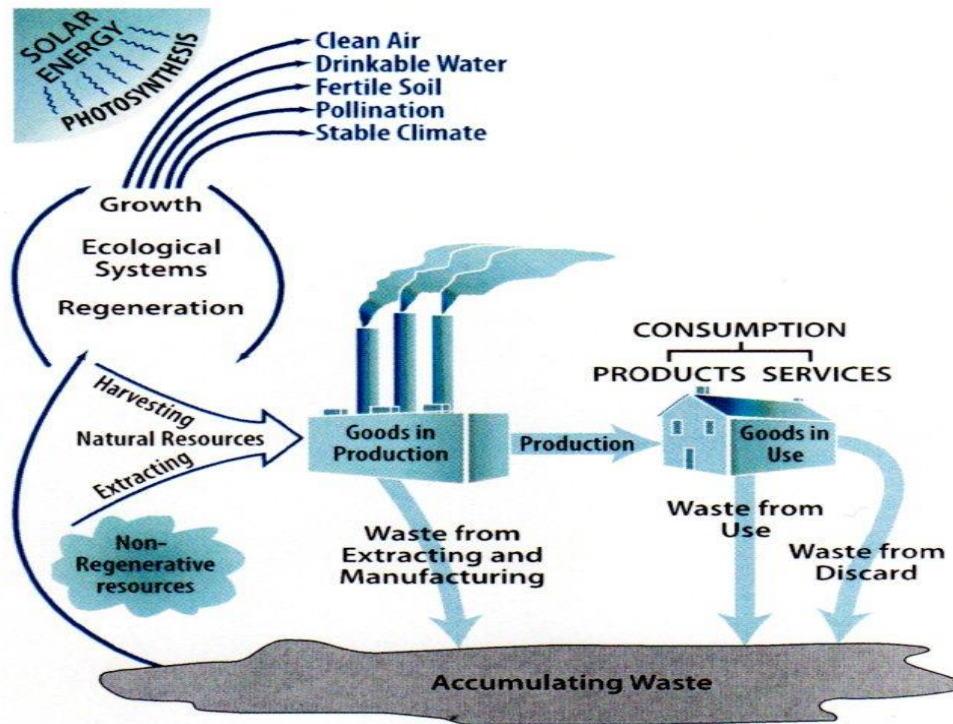


Figure 2.1 Illustration of the current industrial system (Senge et al. 2008)

Economía circular regenerativa

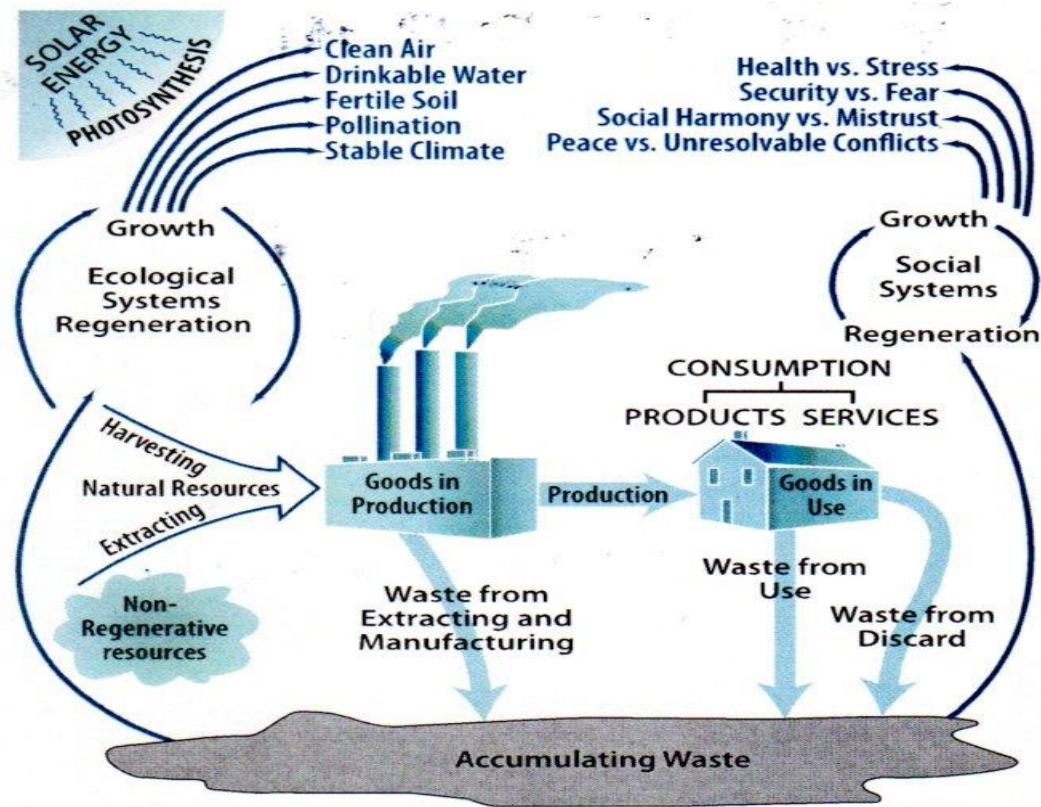


Figure 2.2 Illustration of the regenerative circular economy (Senge et al. 2008)



Economía circular regenerativa

Ésta presenta la característica de reflejar un movimiento hacia recursos regenerados y una reducción dramática en la acumulación de residuos, dando lugar a un mundo más sostenible, en que se regeneran los recursos y se minimizan o eliminan los residuos.

Hormigón

- Es el material de mayor consumo en el mundo luego del agua.
- Su producción mundial alcanza los 12 billones de toneladas anuales.
- Ello convierte a esta industria en el usuario más importante de recursos naturales del planeta.
- Se espera que la demanda llegue a 18 billones por año, para el 2050.
- Además de los materiales naturales, hay involucrado un gasto considerable de energía, lo que se debe evaluar en el impacto ambiental.



Hormigón tradicional

Resulta de la combinación y la mezcla de los componentes mencionados en pastones elaborados en plantas hormigoneras **fijas o móviles**.

Implica movimiento de materiales, mezclado y transporte, los que requieren moderados consumos de energía, generando pequeñas cantidades de residuos.



Hormigón tradicional

Una mezcla típica contiene una gran cantidad de agregados (rocas y arena), una más moderada de cemento y agua, y un pequeña dosis de aditivo químico.

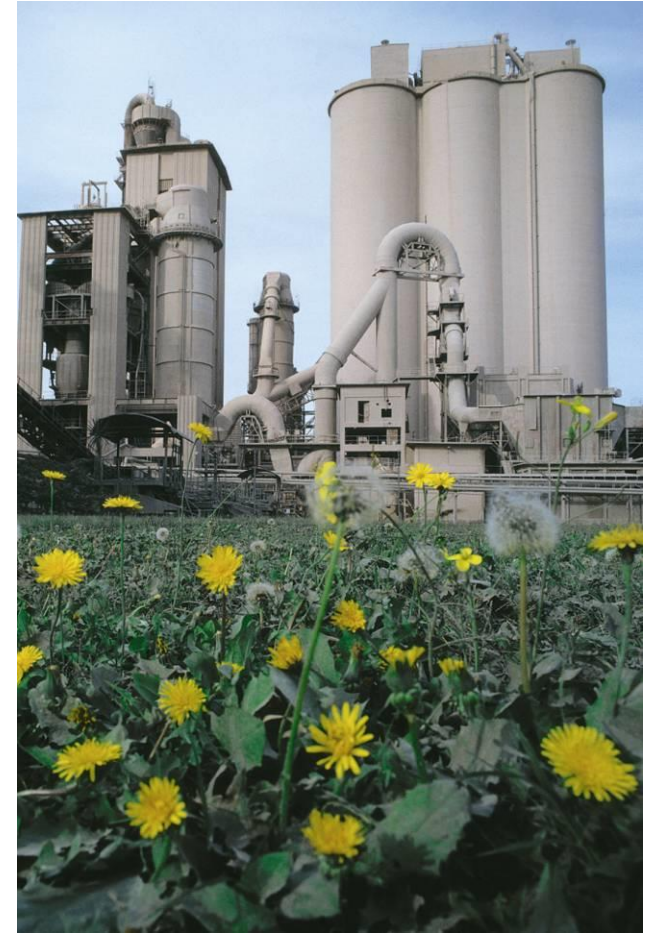
La mayoría de estos componentes, son productos manufacturados, sub productos o materiales extraídos de yacimientos naturales.

Por eso, se debe verificar el impacto que cada uno aporta al total.



Cemento

- El proceso de fabricación del clínquer requiere un importante consumo de energía por tonelada.
- En la descarbonatación de la caliza y el uso de combustibles fósiles, se libera CO_2 .
- Si se agregan adiciones, se reduce el **Factor Clinquer**, así como la energía consumida en la producción del cemento y la generación de CO_2 .



MP + CA (materias primas y combustibles alternativos, AFR)

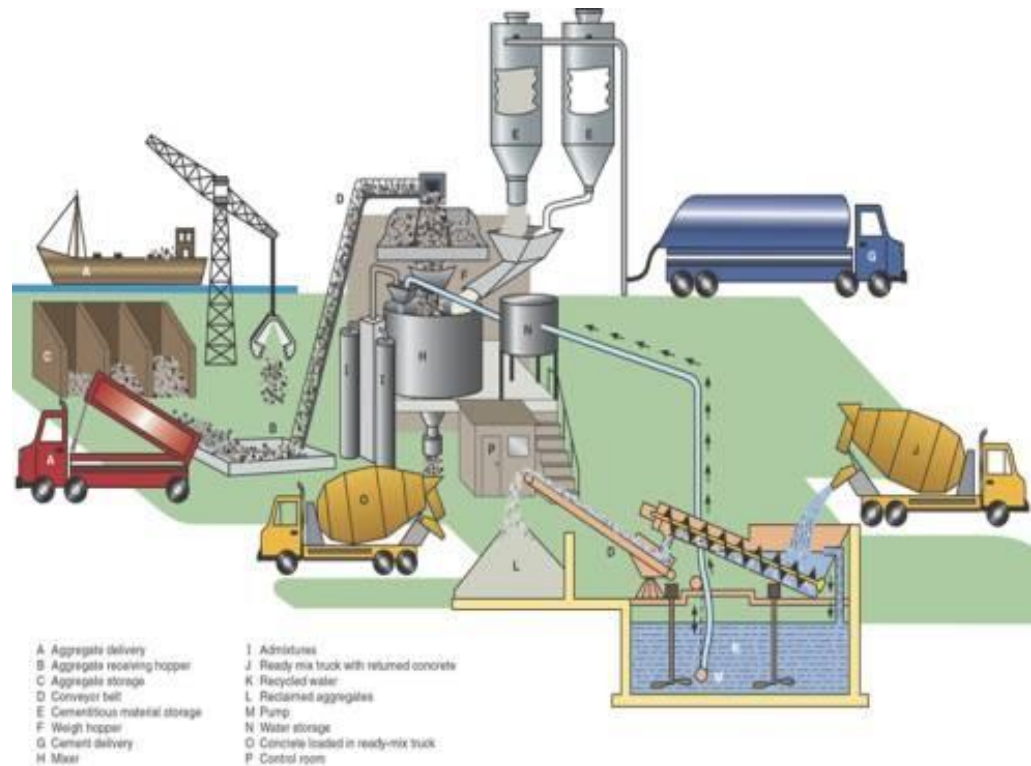


Agua

Es comúnmente agua potable, sin ningún proceso.
Tiene muy poca energía incorporada y ningún residuo.

Surge como tema ambiental, pues es un recurso que puede llegar a ser escaso en algunos lugares.

Ej: Río Desaguadero, Provincia de San Luis

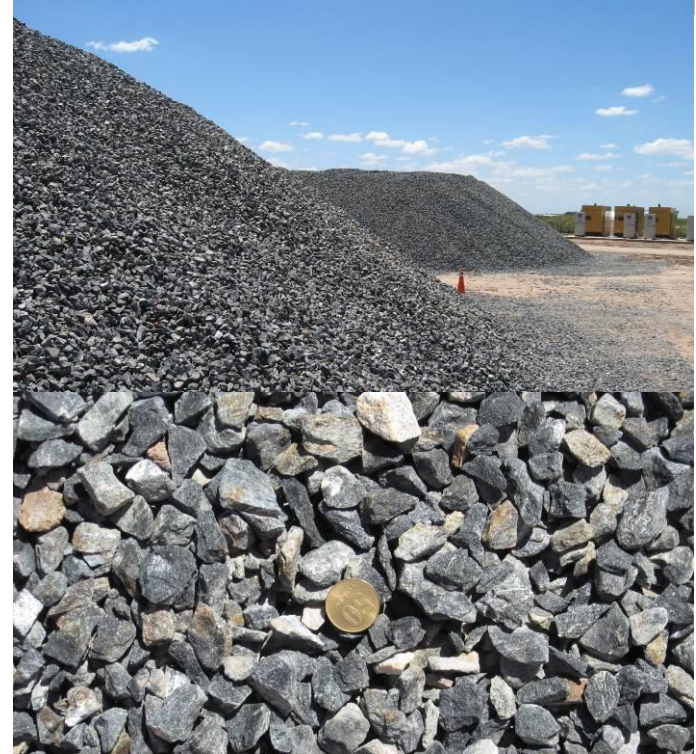


Agregados

Los agregados fino y grueso, se obtienen generalmente por minería, **primarios**. A veces resulta como subproducto de otro proceso (escoria granulada de alto horno u hormigón reciclado), **secundarios**.

Se los puede triturar y lavar, fraccionándolos en diversos tamaños de partículas para satisfacer los requisitos de la granulometría. En algunas ocasiones se los puede secar.

Estos procesos llevan implícitos cierta cantidad de energía.



Pavimentos “Verdes”

Deben ofrecer beneficios a los propietarios y a los usuarios:

- Menor costo inicial
- Costos de mantenimiento reducido.
- Eficiencia energética.
- Larga vida (durabilidad).
- Reciclable
- Seguros y confortables



Análisis del Ciclo de Vida

Es la investigación y evaluación de los impactos ambientales de un determinado producto, servicio o proceso.

Ciclo de Vida del pavimento

- **Materiales**
- **Construcción**
- **Vida útil**
- **Mantenimiento y Rehabilitación**
- **Demolición y Reciclado**





Ciclo de vida del pavimento

Materiales = extracción + producción + transporte

Construcción = demoras en el tránsito + equipos en el sitio

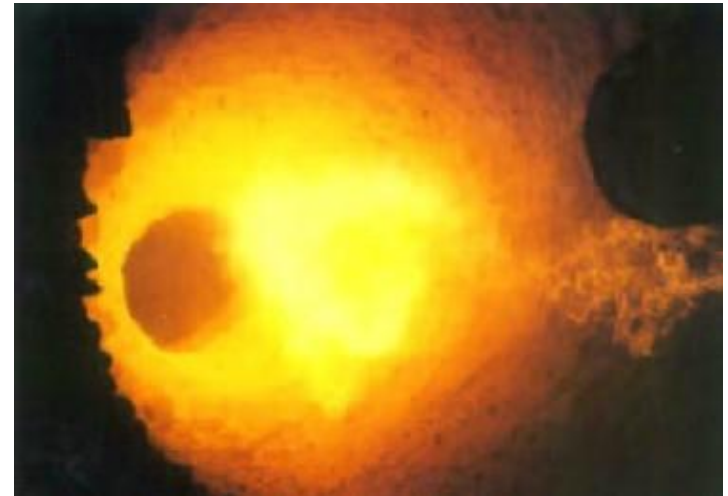
Vida útil = carbonatación + iluminación + albedo +
resistencia al deslizamiento + lixiviación

Mantenimiento y Rehabilitación

Demolición y Reciclado = transporte + equipos en el sitio

Materiales, extracción + producción

- En el proceso de fabricación, uno se puede plantear las siguientes cuestiones:
 - Las materias primas son renovables?
 - Cuánta energía se ha empleado?
 - Qué impacto han de tener los residuos?



Construcción

- De la misma manera, para esta etapa, surgen las preguntas:
 - Cuánto de cada material producido se emplea?
 - Se podrían utilizar otros materiales con menor impacto ambiental?
 - Qué cantidad de energía se ha empleado?
 - Se generan residuos y si es así, cómo impactan al ambiente?



Vida útil

- Tiene un impacto directo sobre la Sostenibilidad del pavimento.
- Su edad de diseño generalmente es de 25, aunque la tendencia es diseñar a 40 años. Los pavimentos de hormigón superan estas vidas en servicio.
- El **hormigón es sinónimo de larga vida**, ello minimiza el impacto ambiental.
- Se reduce el consumo de materiales, de energía y las congestiones por intervenciones



Técnicas de Rehabilitación

Una vez alcanzada la etapa final de su vida útil, controlada por su durabilidad, el pavimento puede ser rehabilitado mediante distintas técnicas.

El caso de la Ruta 66 de EEUU es un excelente ejemplo de la sostenibilidad de un pavimento de hormigón, fue construída en 1946, pulida en 1965, repulida en 1984 y nuevamente en 1997.

Actualmente, la transitan 240 000 vehículos por día.

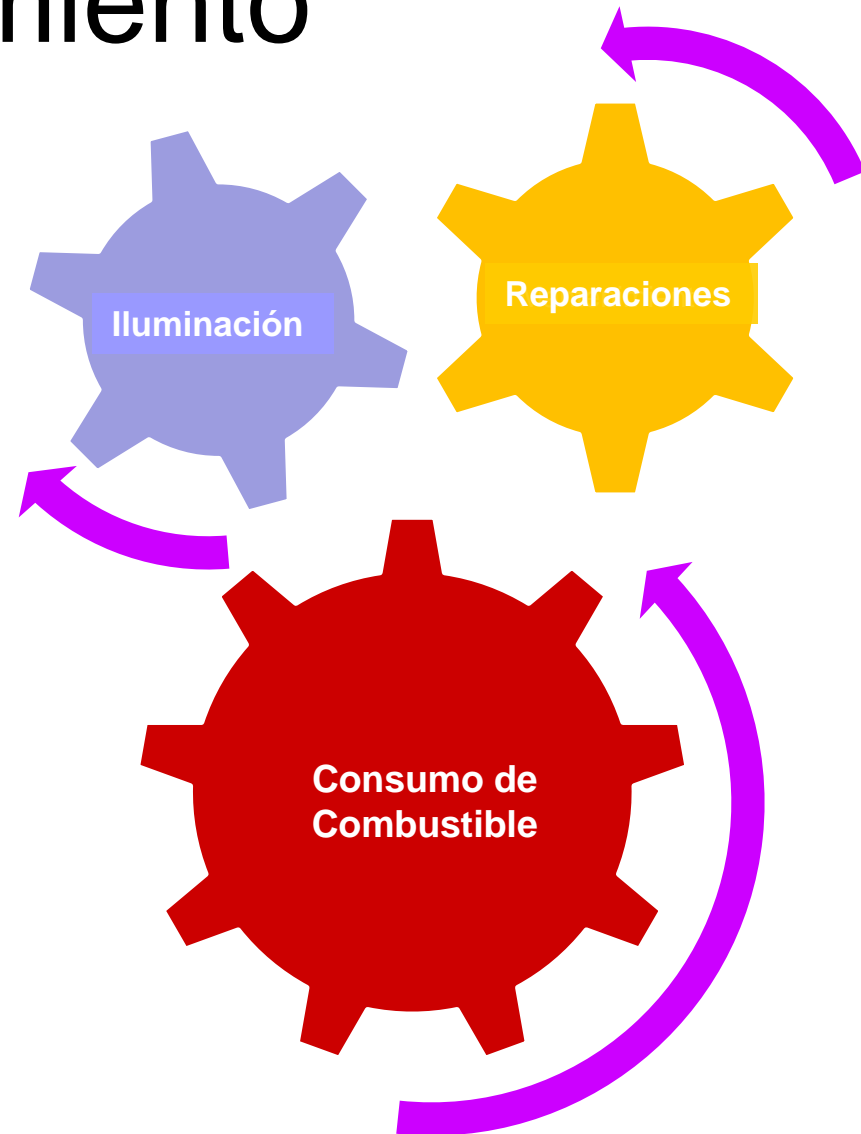


Mantenimiento

Algo que no se debe perder de vista es el funcionamiento o servicio del pavimento.

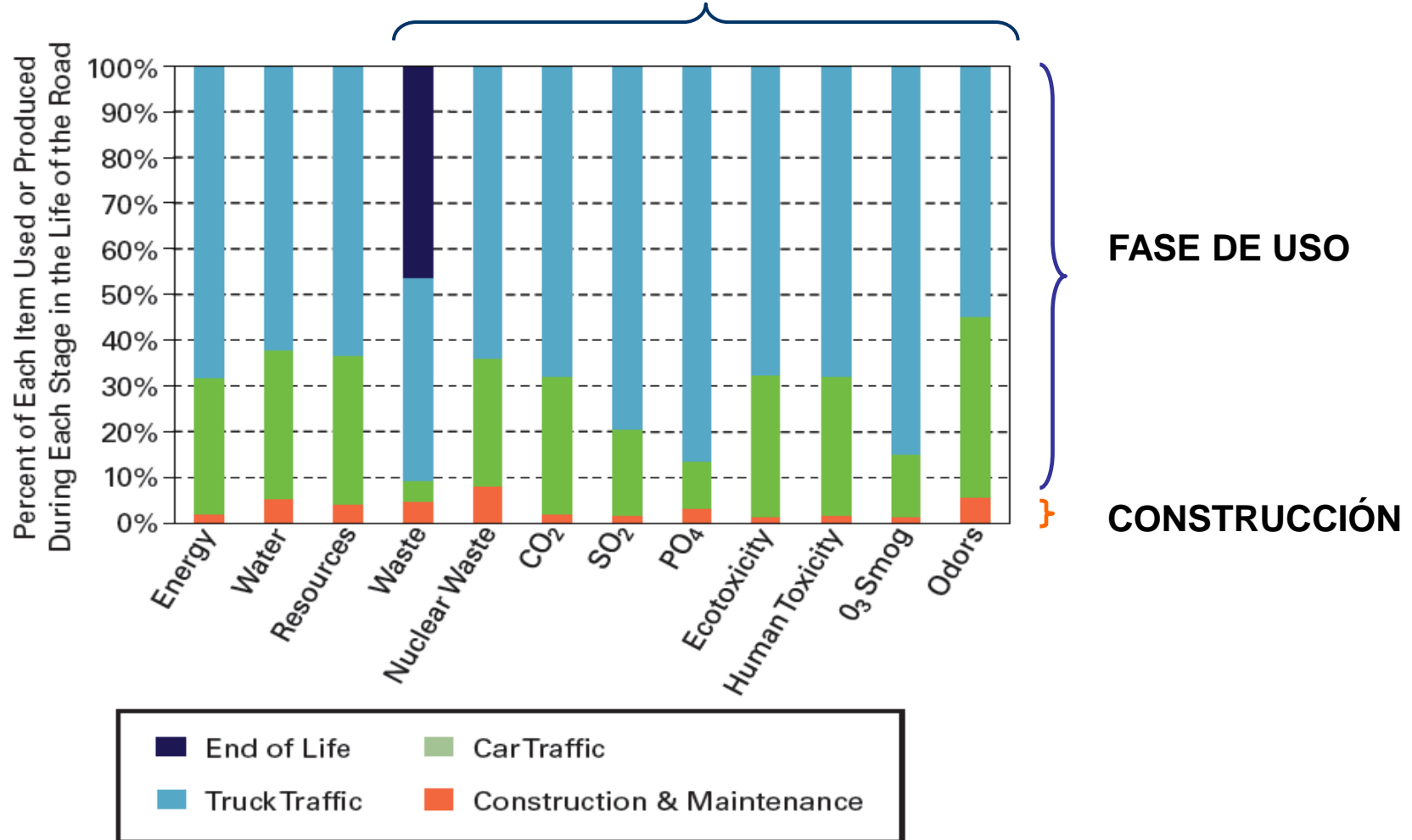
Se deben considerar, la seguridad, la **visibilidad**, el costo de los usuarios y la **necesidad de intervenciones de mantenimiento**, con las interrupciones de tránsito asociadas.

El gasto de energía y la generación de residuos en estas tareas es mucho más significativo que el insumido durante la construcción:



Perfil Ecológico



Residuos y emisiones



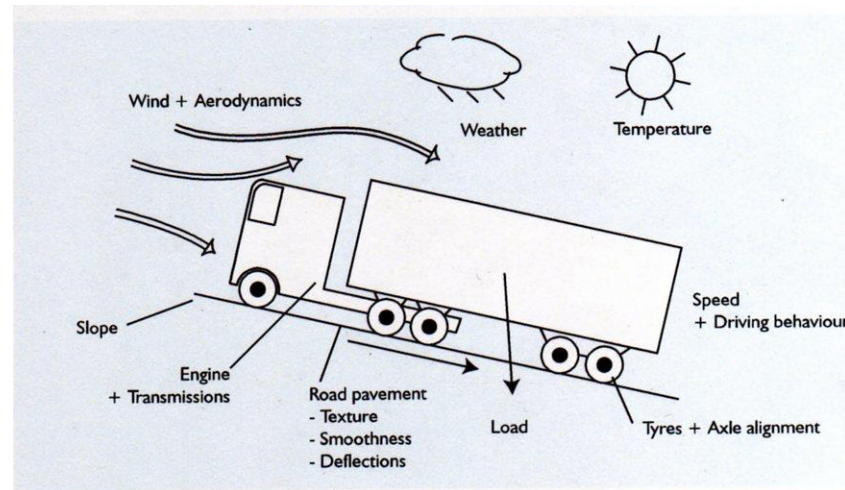
Fuente: Leif Wathne, Sustainability and Pavements: Are We Focusing on the Right Things?, ICPA 70° Aniversario

Consumo de Combustible

- En una estructura flexible, los vehículos pesados generan mayores deformaciones que en el pavimento rígido.
- Estas deformaciones involucran un consumo de energía, que de otra forma se encontraría disponible para la propulsión de los vehículos.
- Según estudios del **National Research Council de Canadá**, se obtiene una reducción significativa en el consumo de combustible en vehículos pesados, cuando circulan sobre pavimentos de hormigón de entre 0,8% al 6,9%.

	National Research Council Canada	Conseil national de recherches Canada
	Centre for Surface Transportation Technology	Centre de technologie des transports de surface
<hr/>		
<i>NRC-CMRC</i>		
<i>Test Report</i>		
<i>Effects of Pavement Structure on Vehicle Fuel Consumption – Phase III</i>		
G.W. Taylor, P. Eng. J.D. Patten, P. Eng.		
Centre for Surface Transportation Technology (CSTT) National Research Council of Canada (NRC) 2320 Lester Road Ottawa, Ontario K1V 1S2 Canada		
Phone (613) 998-9639 Fax (613) 957-0831		
Prepared for: Cement Association of Canada; and Natural Resources Canada Action Plan 2000 on Climate Change		
January 27, 2006		
Project 54-HV775 Technical Report CSTT-HVC-TR-068		
CONTROLLED UNCLASSIFIED		
<hr/>		
Canada 		
<small>This document contains confidential information that is proprietary to NRC's Centre for Surface Transportation Technology. No part of its contents may be used, copied, disclosed or conveyed to any party in any manner whatsoever without prior written permission from NRC's Centre for Surface Transportation Technology.</small>		

Consumo de Combustible





Consumo de combustible

La cuestión es cuantificar cuánto se ahorra en combustible, en dinero y en emisiones. Se hace un cálculo basado en las suposiciones siguientes (para la UE):

Precio del diesel oil: 1,5 € /l

Factores de emisión

Óxidos de Nitrógeno, NO _x	25 a 28 g/l
Material particulado, MP	0,2 a 0,4 g/l
Hidrocarburos, HC	0,4 a 1 g/l
Monóxido de carbono, CO	1 a 7 g/l
Dióxido de carbono, CO ₂	2,7 kg/l
Azufre, S	0,1 g/l



Cálculos

Los ahorros de combustible para camiones pesados (en pavimentos rígidos vs flexibles, y camiones cargados y descargados) a 60 km/h, en diferentes estaciones del año, varía desde **1 % al 6 %**. En términos de litros, de combustible ahorrado, los datos del National Research Council de Canadá, que dispone de la mejor base documentada, indican que es del orden de **0,45 l por cada 100 km**.



Cálculos

Si se considera una carretera, de 100 km de largo, con un tráfico diario de vehículos que transportan bienes pesados por carril, de entre 5 000 a 15 000, los resultados son los siguientes:

Cálculos para la Carretera

km de carretera	Número de vehículos pesados por día	Direcciones	Ahorro de combustibl e cada 100 km	Precio del diesel oil	CO ₂ en kg/l
100	5 000	2	0,45	1,5	2,7
100	10 000	2	0,45	1,5	2,7
100	15 000	2	0.45	1,5	2,7

Cálculos de los Ahorros por día

Diesel oil, en l	Costos, en €	CO ₂ , en kg
4 500	6 750	12 150
9 000	13 500	24 300
13 500	20 250	36 450

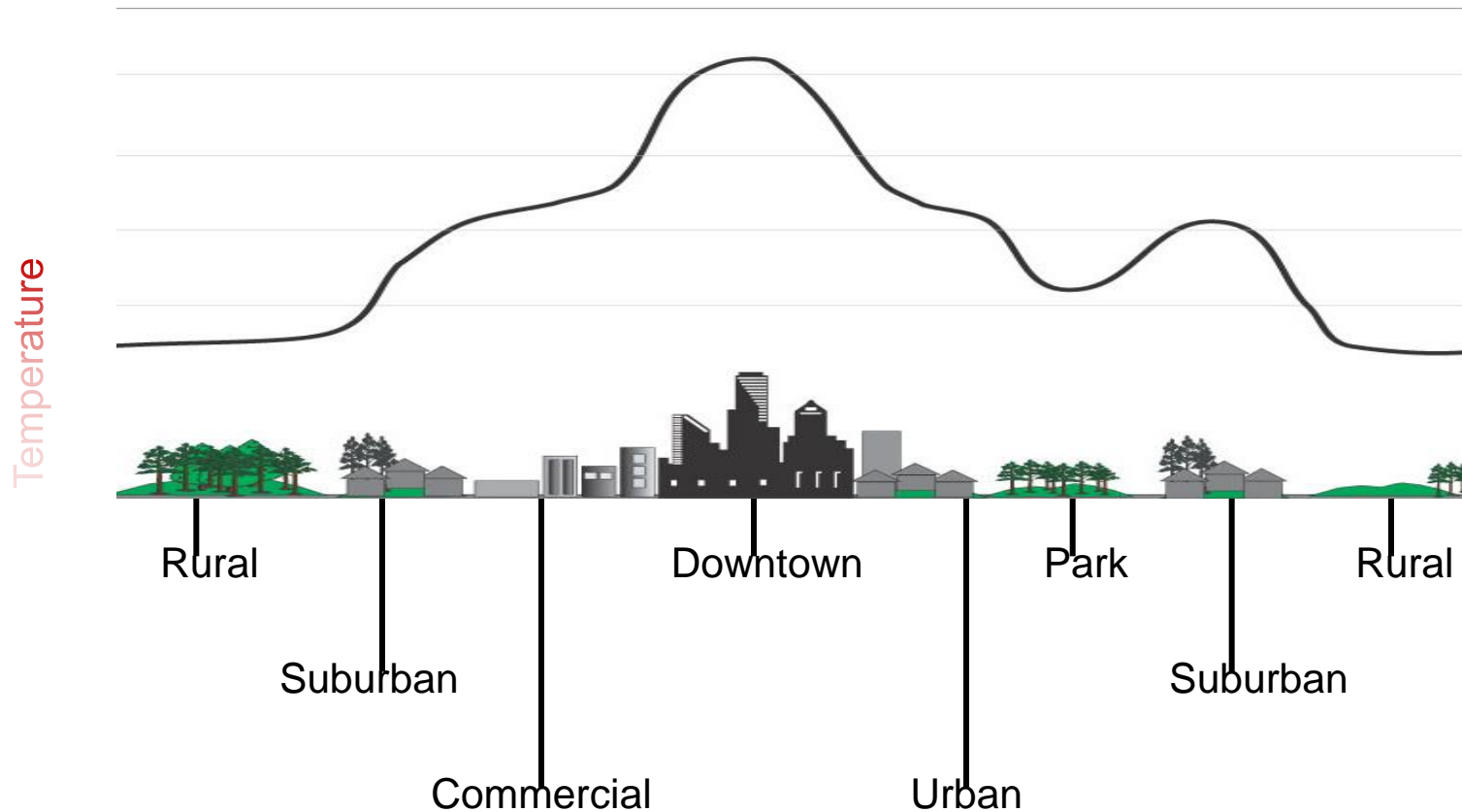
Cálculo de los Ahorros por año

Diesel oil, l	Costos, €	CO ₂ , kg
1 642 500	2 463 750	4 434 750
3 285 000	4 927 500	8 869 500
4 927 500	7 391 250	13 304 250

Cálculos de los ahorros durante una vida útil de 30 años de la carretera

Diesel oil , l	Costos, €	CO ₂ kg
49 275 000	73 912 500	133 042 500
98 550 000	147 825 000	266 085 000
147 825 000	221 737 500	399 127 500

Reflectividad Superficial (Albedo)





Albedo

Los pavimentos absorben la radiación y la liberan en forma de calor.

El resultado es un incremento de las temperaturas urbanas, lo que provoca un aumento del consumo de electricidad, para el uso del aire acondicionado.

Índice de reflexión solar

Material de la superficie	Reflectividad superficial (Albedo)		
Asfalto nuevo	0,05 – 0,10		
Hormigón antiguo	0,2 a 0,3		
Hormigón nuevo	0,35 – 0,45		
Hormigón nuevo con CPB	0,70 – 0,80		



Isla de calor urbana

El uso de pavimentos de color claro junto con el paisaje y los techos de color claro, pueden ayudar a reducir la isla de calor urbana.

Eso significa que la zona metropolitana está más caliente que la rural circundante, porque los techos y los pavimentos son calentados por el sol y el aire.



Isla de calor urbana

En muchas ciudades grandes, las temperaturas de las zonas residenciales se pueden elevar tanto como $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en las del centro $3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, principalmente debido a los pavimentos y techos oscuros. las temperaturas elevadas, provocan falta de confort, los gastos en el uso del aire acondicionado, y se acelera la formación de smog.



Isla de calor urbana

El empleo de materiales claros y reflectivos del calor, junto con una plantación adecuada de árboles, pueden disminuir la temperatura promedio de una tarde de verano en algunas ciudades, tanto como 2,8 °C lo que representa un corte en la necesidad del aire acondicionado en un 8 %.



Visibilidad nocturna

La oscuridad incrementa el potencial de los accidentes viales. En general, las fatalidades durante la noche son aproximadamente tres veces mayores que durante el día.

Por eso, en las áreas de tránsito intenso, tiene sentido agregar iluminación artificial para reducir los accidentes.

Visibilidad nocturna

Por su color claro, los pavimentos de hormigón mejoran la visibilidad nocturna.

Se requiere menos potencia lumínica para lograr una iluminación artificial adecuada, y menos cantidad de luminarias.

Se reduce el riesgo de accidentes, mejorando la seguridad de las personas.



Visibilidad nocturna

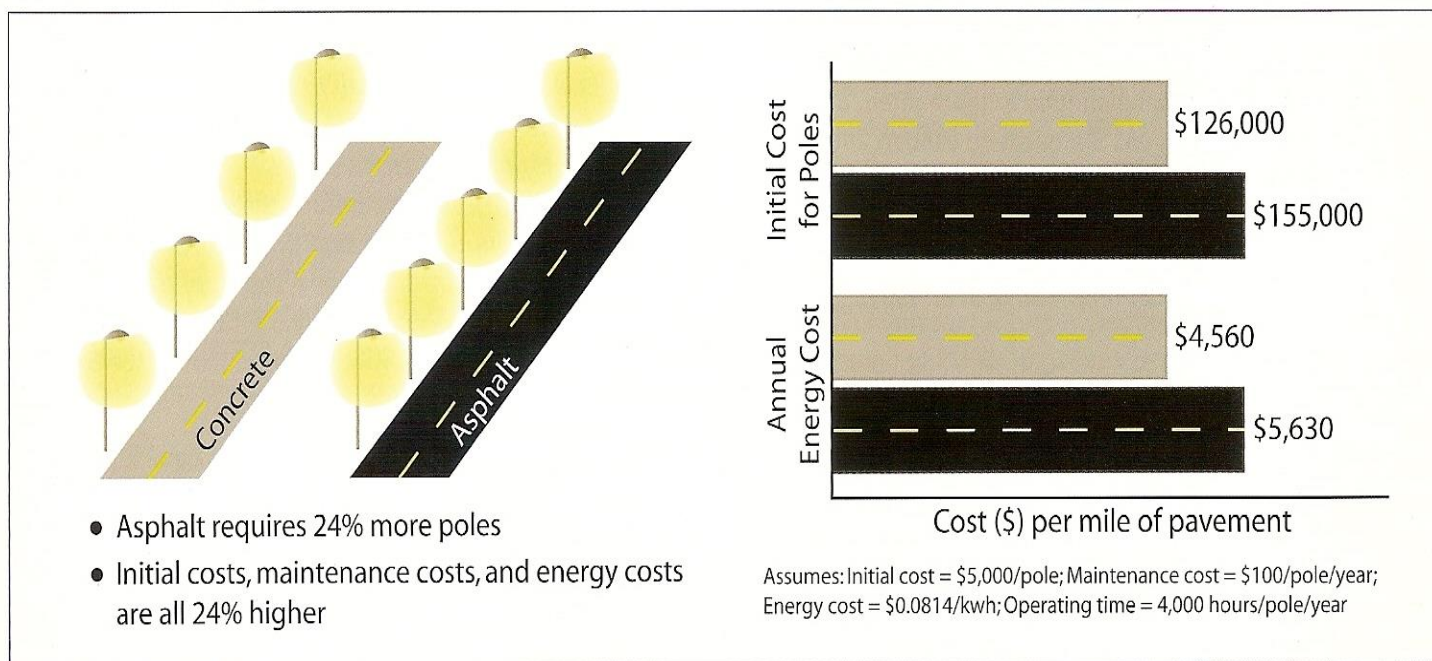


Figure 6. The need for additional light fixtures leads to higher annual energy costs for roads paved with asphalt



Reciclado y reuso

El hormigón puede incorporar materiales reciclados en diversas formas.

Los más usados son los materiales cementicios suplementarios tales como cenizas volantes, escoria granulada de alto horno y humo de sílice.

Se emplean para mejorar la durabilidad de los hormigones, al disminuir la posibilidad de fisuración, y hacerlos menos permeables.

Reciclado

Las preguntas que aquí surgen son:

- Se pueden **reciclar** los materiales empleados?
- Se puede **re usar** una parte del pavimento?
- Se pueden **disponer** algunos materiales?
- Generan los **residuos** un impacto ambiental negativo?



REUSAR

RECICLAR

REDUCIR

Reciclado

Si un pavimento ya no cumple más la función para la cual fue proyectado, debe ser rehabilitado.

Actualmente, ese material puede ser reciclado para evitar el impacto negativo de los escombros, empleándolo en nuevas aplicaciones, en **reemplazo de materiales vírgenes.**





Beneficios ambientales

El empleo de estos subproductos industriales, significa una reducción de la cantidad de materiales residuales que irían a parar a un relleno sanitario, además de extraer menor cantidad de materias primas vírgenes, junto con la energía necesaria asociada para su tratamiento y la emisión de gases de efecto invernadero.



Materiales reciclados

El hormigón reciclado a partir de la demolición puede ser empleado en como un agregado para una base de un pavimento nuevo, y/o también puede formar parte de un hormigón nuevo.

El hecho del reciclado del hormigón antiguo, como agregado, protege los recursos naturales, al reducir la demanda de los vírgenes, y no se disponen en un relleno sanitario.

Consideraciones finales

- * **Empleo**, en la fabricación de cemento, de residuos industriales, como **materias primas y/o combustibles alternativos**.
- * **Reducción** del factor clínquer mediante el uso de **adiciones** activas y filleres.
- * **Optimización** del diseño de las estructuras, teniendo en cuenta el Ciclo de Vida.
- * **Diseño** de mezclas con baja relación agua-cemento, obteniendo **hormigones más resistentes y durables**.
- * **Reemplazo de** los agregados convencionales, por hormigón triturado y/o subproductos industriales (agregados secundarios).

Conclusiones

- * **El empleo de materiales adecuados** y las buenas prácticas constructivas aseguran la larga vida de un pavimento.
- * **Control de calidad** estricto.
- * **Buena rugosidad** que mejora el confort, pero además prolonga la vida y disminuye el consumo de combustibles, con menores emisiones de GEI.
- * **Análisis del Ciclo de Vida** con las ventajas que presentan los pavimentos rígidos desde el enfoque **sostenible**.



Conclusiones

- * **Emisiones de GEI menores** (en CO₂ equivalente).
- * **Smog reducido** (óxidos de nitrógeno, NO_x).
- * **Lluvia ácida reducida** (dióxido de azufre, SO₂).
- * **Uso de energía reducido** durante un período de 5 años.