



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

SEMINARIO IET - MOVILIDAD SOSTENIBLE

**ESTRATEGIAS PARA UNA INFRAESTRUCTURA VIAL  
SOSTENIBLE Y SUSTENTABLE. APORTES DESDE  
LAS UNIVERSIDADES LATINOAMERICANAS**

Hugo Gerardo Botasso / 17:00 A 18:00 hs.

**MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE:  
LECCIONES APRENDIDAS PARA AVANZAR EN LA  
DIRECCIÓN CORRECTA**

Victor Manuel Cantillo / 18:15 a 19:15 hs.



Martes 24 de junio - 17:00 hs, Salón de Posgrado IET  
Facultad de Ingeniería, Julio Herrera y Reissig 565



Inscripción



# ESTRATEGIAS PARA UNA INFRAESTRUCTURA VIAL SOSTENIBLE Y SUSTENTABLE.

Aportes desde las  
Universidades  
Latinoamericanas



Dr. Ing. Gerardo Botasso -  
Universidad Tecnológica Nacional La Plata. Argentina



**Infraestructura vial:** conjunto de elementos físicos, como carreteras, puentes, señales, y otros, que permiten el desplazamiento seguro y eficiente de personas y bienes por medio del transporte terrestre. Necesarias para el desarrollo económico y social de una región, facilitando la conexión entre diferentes localidades y promoviendo actividades productivas y comerciales.

**Red vial – instalaciones – elementos de seguridad**



**Estrategias Sostenibles:** Se centran en equilibrar las necesidades sociales y económicas con la preservación de los recursos naturales a largo plazo. Busca un cambio profundo en diferentes ámbitos: medioambiental, social, económico y cultural.



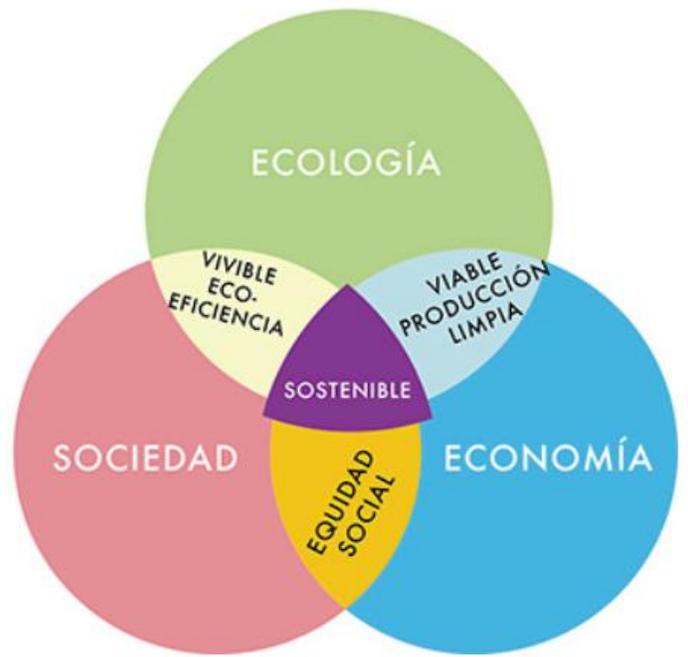
**Estrategias Sustentables:** Se enfocan en la conservación y protección de los recursos naturales para el beneficio inmediato y futuro. Su objetivo principal es el uso racional de los recursos naturales.



**DESARROLLO SUSTENTABLE**  
Considera una relación de valor con el medio ambiente y los recursos naturales



**DESARROLLO SOSTENIBLE**  
Crea un modelo de valor que integra lo ambiental, social y económico





## ¿Son sostenibles las carreteras?

A primera vista, la pregunta parece legítima. Las obras viales generan emisiones, modifican paisajes y consumen recursos.

¿Nos preguntamos, acaso, si la educación, la sanidad o la justicia son sostenibles? No.

Lo que nos cuestionamos es **cómo hacerlas sostenibles**, porque partimos del principio de que son necesarias. Con las carreteras sucede lo mismo.



América Latina y el Caribe arrastra la segunda mayor brecha estructural en infraestructura de transporte después de la del África subsahariana.

**Faltan carreteras, faltan estándares de calidad y falta mantenimiento.**

Las zonas rurales siguen estando desconectadas, y muchas ciudades padecen infraestructuras viales insuficientes, inseguras o incapaces de responder a la demanda. Resolver este déficit es urgente, pero hacerlo bien lo es aún más, aplicando criterios de eficacia, eficiencia y sostenibilidad.

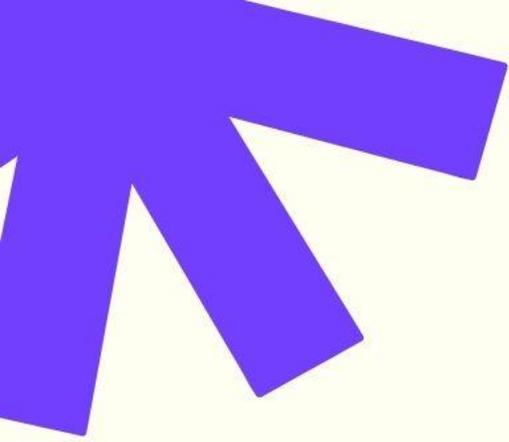
**Condiciones de operación deficitarias**



Además de ser esenciales para la cohesión social, **las carreteras son un motor comprobado de desarrollo.**

**iniciativas alineadas con el triple enfoque clásico de la sostenibilidad – ambiental, social y económica:**

- ★ **1. Criterios de adaptación al cambio climático,**
  - 2. La realización sistemática de auditorías de seguridad vial
- ★ **3. La aplicación de principios de economía circular,**
  - 4. El empleo de enfoques territoriales, de género y étnicos en la planificación.



# CRITERIOS DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO



Construir carreteras sostenibles es una forma concreta de construir ciudadanía, de promover el desarrollo con equidad y de reactivar nuestras economías.

**Abrir caminos, para que más personas puedan quedarse, desarrollarse y prosperar en su propia tierra.**



## CRITERIOS DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO

La adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos tiene como objetivo prever los efectos adversos del clima y tomar las medidas adecuadas para evitar o minimizar los daños que puedan causar, con el fin de reducir costos futuros y maximizar la rentabilidad de las inversiones. Estas medidas de adaptación deben enfocarse tanto a corto como a medio y largo plazo, y complementarse con herramientas de gestión ambiental, de planificación y de gestión de riesgo de desastres.



## CRITERIOS DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO



**GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA**  
CAF



## CRITERIOS DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO

### *RIESGO = AMENAZA X VULNERABILIDAD*

**Riesgo** como las consecuencias eventuales en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto, reconociendo la diversidad de valores.

**Amenaza** como un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

**Vulnerabilidad** se define como la propensión o predisposición a ser afectado negativamente; comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación

## AMENAZA CLIMÁTICA POTENCIAL

## IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA DE CARRETERA

Incremento de precipitación y tormentas

- Inundaciones en las carreteras
- Daños en pilares, puentes y estructuras de soporte
- Daños en las distintas capas del pavimento
- Daño a la infraestructura de transporte debido al incremento de los deslizamientos
- Sobrecargas de los sistemas de drenaje
- Cambios en los patrones superficiales de escorrentía
- Deterioro de la integridad estructural de carreteras, puentes y túneles debido al incremento de la humedad en las estructuras

Vendavales o vientos fuertes

- Caída de árboles, equipamiento u otros elementos sobre la calzada
- Inestabilidad de los vehículos en carreteras y puentes
- Incremento de la erosión de taludes y terraplenes
- Daños estructurales a los puentes
- Rotura de la señalización vertical de gran tamaño

Incremento de condiciones de sequía y fuegos en algunas regiones

- Pérdida de la cubierta vegetal en los márgenes
- Daño de la infraestructura por incremento de fuegos y por aumento de la erosión, y movimientos en masa como consecuencia de la pérdida de la capa vegetal quemada

Incremento de días muy calurosos y olas de calor

- Expansión térmica de las juntas de puentes y pavimentos de hormigón
- Daños en el pavimento (surcos, ablandamientos y exudación, entre otros)

Incremento del nivel del mar y oleadas

- Daño a autopistas, carreteras, túneles subterráneos y puentes debido a inundaciones, anegamientos permanentes en áreas costeras, y erosión costera
- Daño a la infraestructura por subsidencia del terreno y deslizamientos

Incremento de temperaturas en áreas muy frías

- Cambios en la subsidencia de carreteras y debilitamiento de soportes de puentes debido a descongelamiento de permafrost.

Congelamiento tardío/ descongelamiento temprano en permafrost

- Deterioro del pavimento debido al incremento de los ciclos de congelamiento/descongelamiento
- Reducción del deterioro del pavimento en lugares donde se registra una menor exposición al congelamiento, nieve o hielo (impacto positivo)

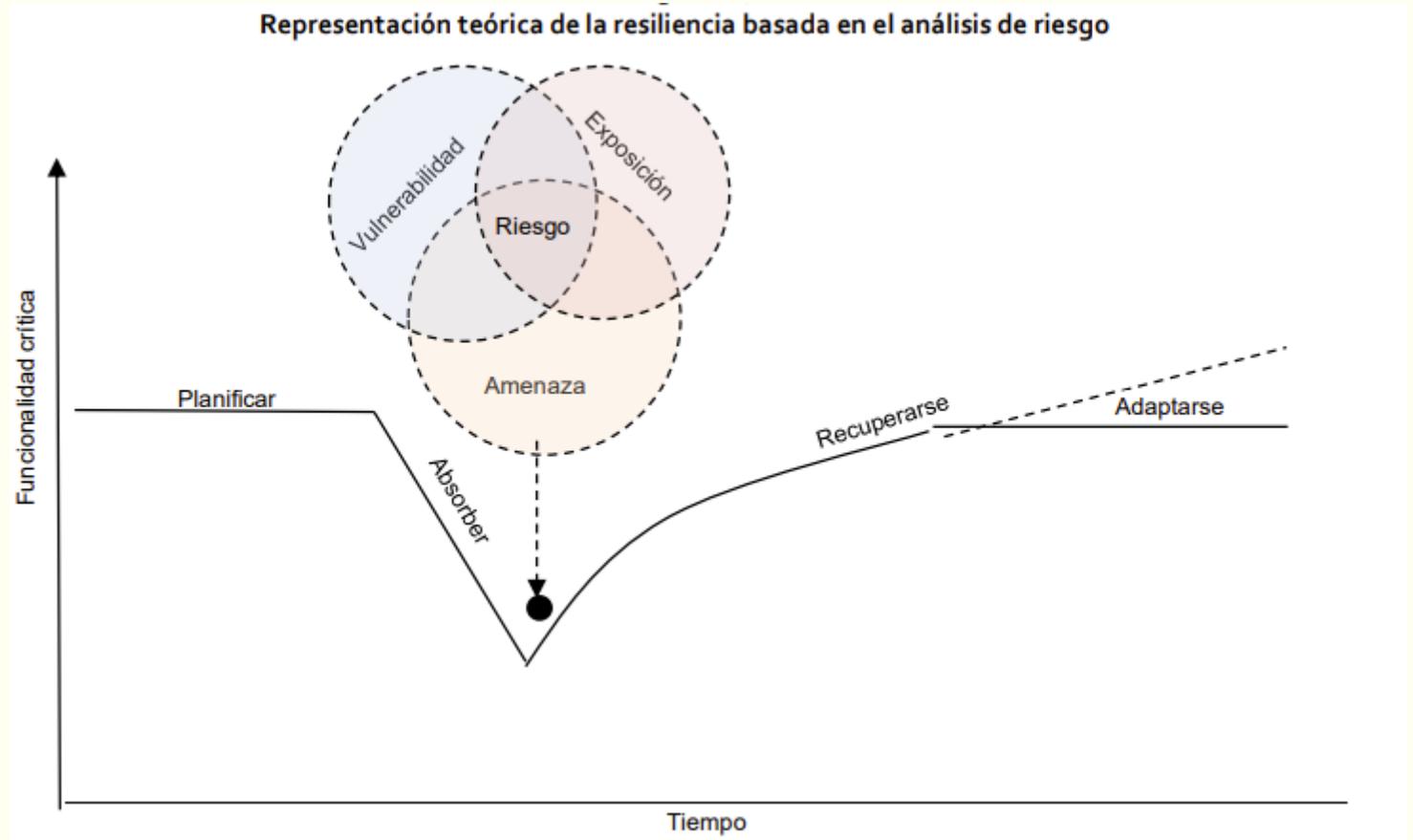
UNA INFRAESTRUCTURA VIAL SOSTENIBLE Y SUSTENTABLE.  
Aportes desde las Universidades Latinoamericanas

## ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO



## CRITERIOS DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO

Según Linkov y otros (2014), el riesgo depende de la caracterización de las amenazas, vulnerabilidades y consecuencias (impactos) de los eventos adversos sobre un sistema, de manera a determinar la pérdida esperada de su funcionalidad crítica.





## CRITERIOS DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO

Los organismos de financiamiento de la infraestructura ponen especial interés en estos proyectos y programas.

Gran oportunidad de participación de las Universidades

Ingeniería – economía – ambiente – social – estadística -.....  
Proyectos interdisciplinarios

Gran interés de los gobiernos locales, regionales, nacionales o supra nacionales

ALGUNOS DE  
LOS ACTORES  
PRINCIPALES  
IDENTIFICADOS



## CRITERIOS DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO

- **Metodologías para evaluar la vulnerabilidad de la red vial ante amenazas naturales.**  
LANAMME    Universidad de Costa Rica.
- **Adaptación y resiliencia comunitaria ante desastres socio-naturales.**  
Universidad de Los Andes, Colombia.
- **Evaluación de la vulnerabilidad de puentes ante sismos:**  
Investigaciones en universidades como la Universidad Nacional de Ingeniería (Perú) o la Universidad de Chile, se centran en analizar el comportamiento estructural de puentes ante diferentes escenarios sísmicos, utilizando modelos computacionales y ensayos en laboratorio
- **Modelización del impacto de inundaciones en carreteras:**  
Proyectos de investigación en universidades como la Universidad Nacional de La Plata (Argentina) o la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (Brasil), utilizan modelos hidrológicos e hidráulicos para simular el impacto de inundaciones en diferentes tipos de carreteras y puentes.

ALGUNOS  
EJEMPLOS DE  
PROYECTOS  
ASOCIATIVOS



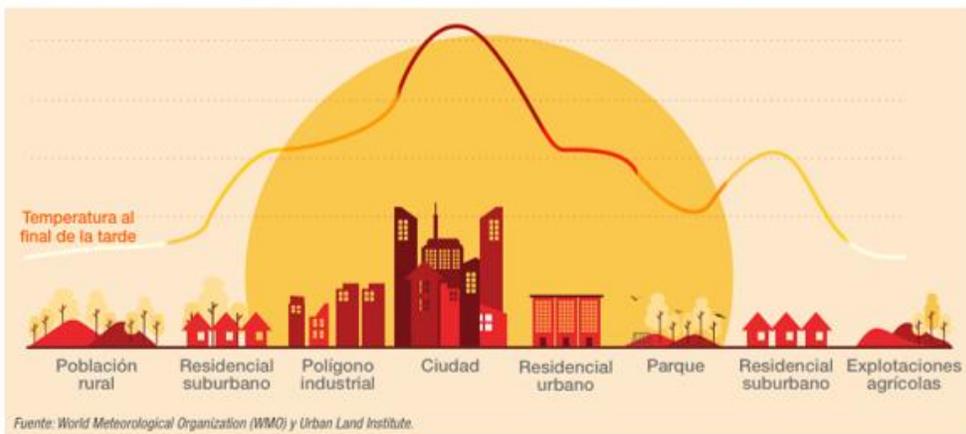
## Islas de Calor Urbanas

La Isla de Calor Urbana es un fenómeno térmico que ocurre en grandes ciudades, donde las temperaturas del aire son más altas (hasta +10 °C) que en zonas rurales aledañas.



### ¿Por qué ocurren?

- Reemplazo del suelo natural por superficies impermeables y oscuras (pavimentos).
- Grandes y numerosas edificaciones con materiales oscuros y de gran capacidad térmica.
- Materiales como el asfalto y el hormigón tienen alta capacidad térmica, baja reflectancia solar y almacenan calor.





## ¿Cómo se generan las islas de calor?

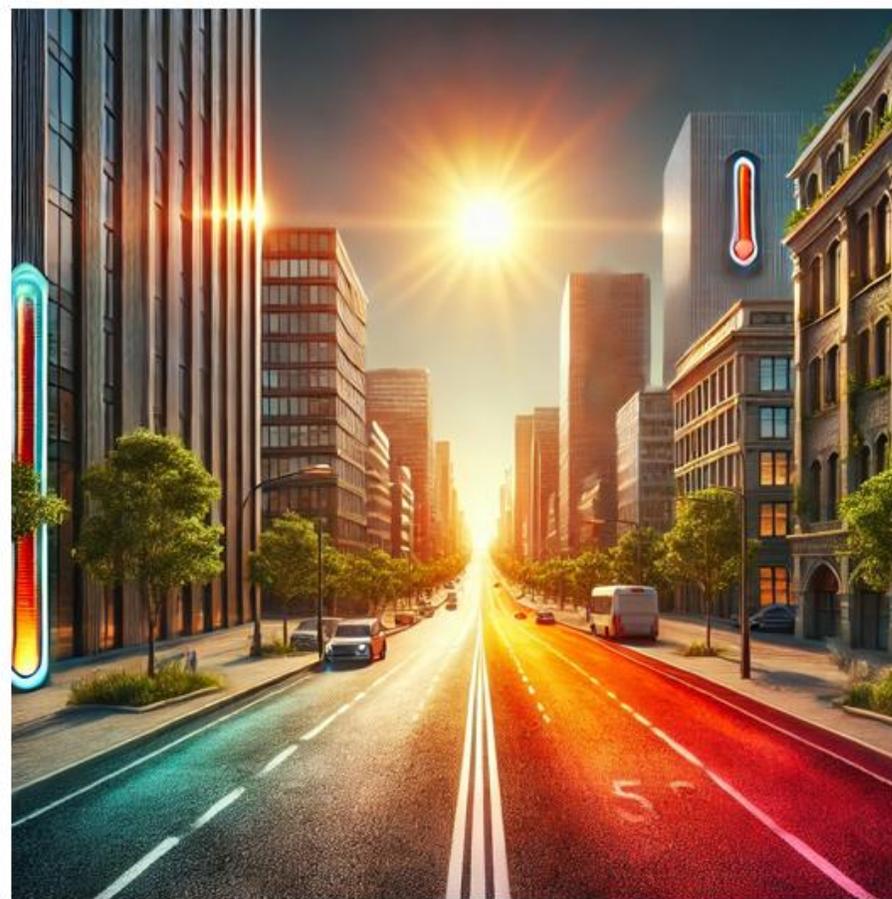




## Pavimentos que contribuyan a mitigar las islas de calor

### PAVIMENTOS FRÍOS

“Se definen a los pavimentos fríos como aquellos que, al compararlos con pavimentos convencionales, alcanzan menores valores de temperatura superficial al estar expuestos a la radiación solar”

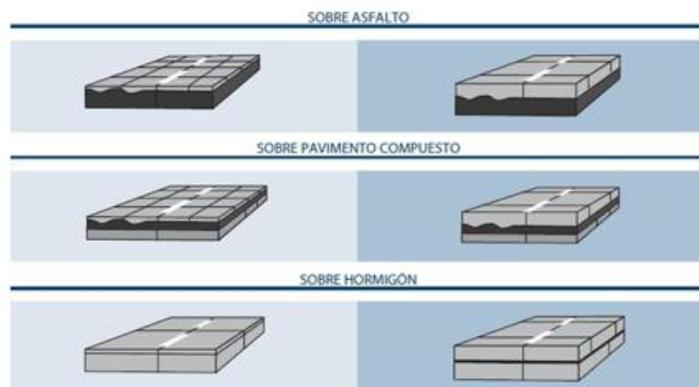




# Pavimentos que contribuyan a mitigar las islas de calor

## Posibles estrategias

White topping:  
capa de hormigón claro sobre pavimento deteriorado



Pinturas reflectantes:  
recubrimientos blancos o con pigmentos claros



Pavimentos permeables:  
permiten evaporación de agua acumulada



Sistemas de enfriamiento:  
circulación de agua interna





## Pavimentos que contribuyan a mitigar las islas de calor

### Posibles estrategias

Mezcla asfáltica convencional modificada con pigmentos de elevado albedo y emisividad



Cabrera P., Botasso G., Castro Luna A. M.

Mezcla con "asfalto sintético" y pigmentos de elevado albedo y emisividad



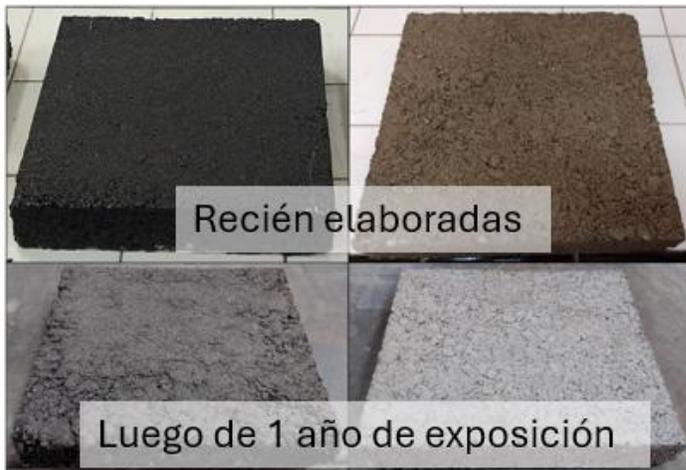
Martínez A., López Montero T., Miró R., Villar R.



## Avances en pavimentos fríos



Grupo de investigación: Cabrera P., Botasso G., Castro Luna A. M.



Modificación superficial y másica de pavimentos de hormigón y mezcla asfáltica con pigmentos claros como  $\text{TiO}_2$  para reducir sus temperaturas superficiales.

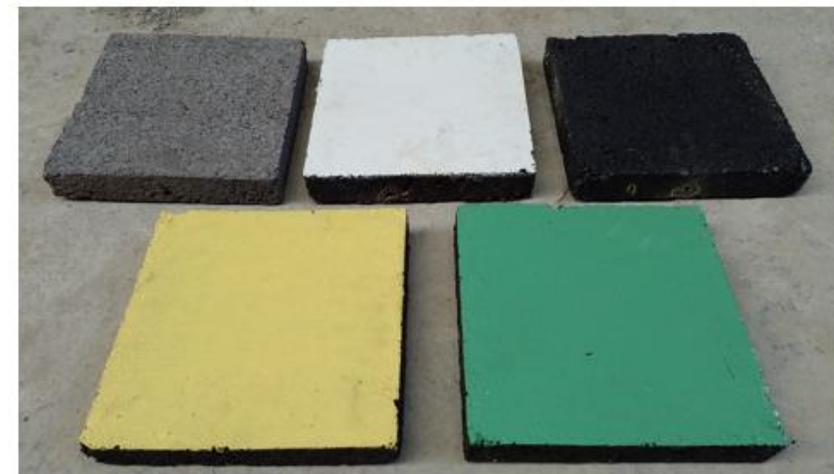
Mezcla asfáltica modificada con  $\text{TiO}_2$



Hormigón drenante modificado con  $\text{TiO}_2$



Hormigón denso modificado con  $\text{TiO}_2$



Aplicación de diferentes recubrimientos claros



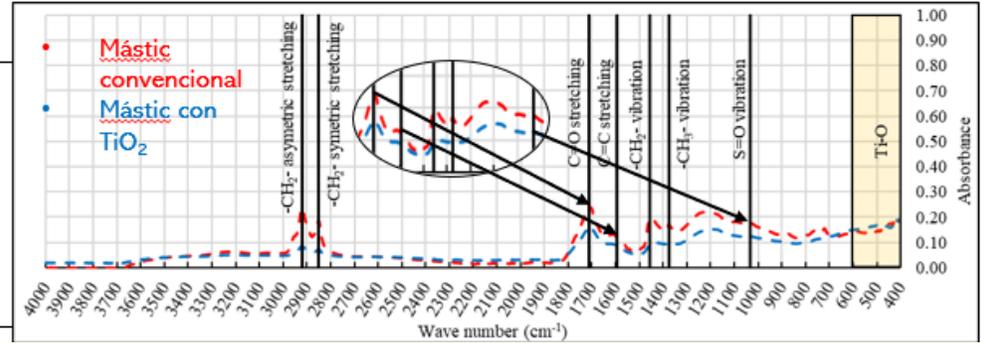
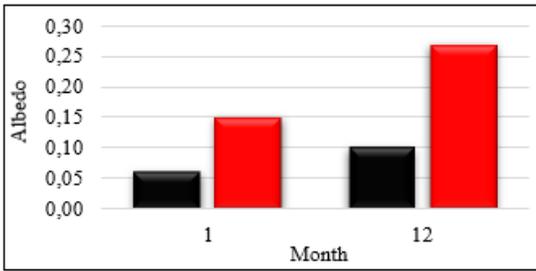
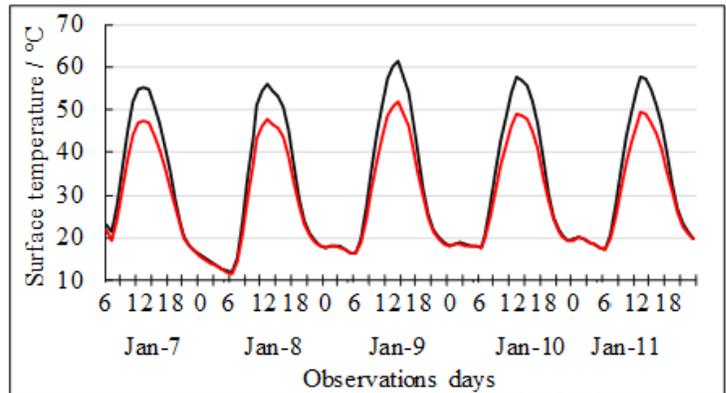
## Avances en pavimentos fríos

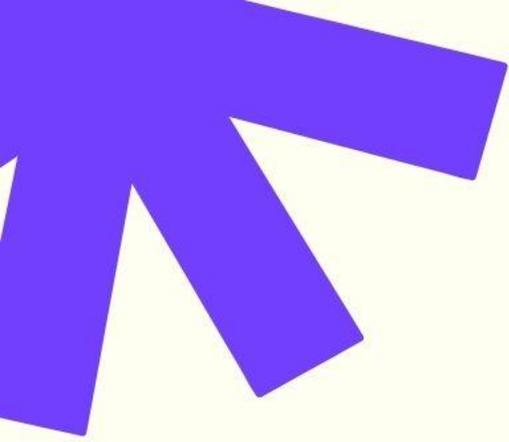


Grupo de investigación: Cabrera P., Botasso G., Castro Luna A. M.

### Resultados más relevantes

- Cambio de coloración de la mezcla asfáltica, con valores de albedo en constante crecimiento durante el primer año de exposición al aire libre.
- Disminución de temperaturas superficiales en mezclas asfálticas modificadas en masa con  $TiO_2$  de hasta  $10^{\circ}C$ .
- Mejoras en la resistencia a envejecimiento térmico y por radiación UV al incorporar  $TiO_2$  en mezcla asfáltica.
- Simulación numérica y cálculos de energía emitida al entorno, menores para pavimentos modificados con  $TiO_2$ .





# LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR



## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

### Economía circular

El modelo de producción lineal utilizado actualmente a nivel mundial ha afectado la economía global y el medio ambiente. La Economía Circular plantea una integración entre la actividad **económica y el medio ambiente** a través de una **planificación y gestión** de reproceso diseñados para lograr la maximización del funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar ambiental.





## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

Existen tres fundamentos o principios elementales de la Economía Circular:

- I. Incrementar y conservar los recursos naturales, controlando las existencias de materias primas naturales limitadas y nivelando los recursos renovables.
- II. Optimización de los recursos naturales, permitiendo la circulación cíclica de los productos, materiales y componentes en los ciclos técnicos y biológicos propios de cada proceso.
- III. Promover la efectividad del sistema cíclico, eliminando los procesos lineales de producción.



## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

- **Reducción y minimización** de materias primas e insumos de recursos naturales. A causa de una utilización eficiente de los recursos naturales minimizando y optimizando estos recursos lo que proporciona un mayor valor del producto con menos materiales.
- Equilibrar de manera eficiente la cantidad de **energía**, recursos renovables y reciclables de los procesos productivos. esto se realiza reemplazando los recursos no renovables por renovables, mayor proporción de materiales reciclables que reemplacen a las materias primas y por último extracción de materias primas de manera sostenible.
- **Reducción de emisiones contaminantes.** se realiza a través de la minimización de emisiones a lo largo de todo el proceso productivo con el menor uso de unidades de materias primas y la obtención sostenible y responsable de estos recursos naturales.
- **Disminución de los desechos y residuos.** el método de producción cíclico permite minimizar la acumulación de desechos, la cantidad de residuos vertidos y bajar las pérdidas por disipación de los recursos que tienen valor en la producción.
- Mantener **los costos y valor de los productos**, componentes y materiales de la producción. reutilizando los componentes a través del reciclaje de alta calidad.



## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

MANUAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MODIFICADAS CON CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO



Manual de Ciclo de Vida de Pavimentos



MANUAL DE RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS



ASOCIATIVIDAD  
PARA PROMOVER  
EN LA  
INFRAESTRUCTURA

- **RECICLADO**
- **USO DE UN NUEVO RESIDUO TECNOLÓGICO**
- **ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA**

**Alto impacto**  
**Gobiernos de 48 países miembros BID**  
**Universidad**  
**Industrias**



## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

MANUAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MODIFICADAS CON CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO



Son muchas las ventajas que conlleva utilizar polvo de neumático fuera de uso en las mezclas asfálticas:

- Ambientales ( uso de un material de alto valor tecnológico, menor contaminación, disminución de vectores endémicos....)
- Sustitución polímeros vírgenes.
- Mayor vida útil de las carreteras (análisis del costo inicial/ costo de mantenimiento/intervenciones)
- Menores espesores de las capas asfálticas
- Menores consumos de energía/ menores  $T_n$  de  $CO_2$





## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

Qué se necesita:

1. Disponibilidad de sistema de gestión.
2. Disponibilidad de tecnologías de trituración.
3. Disponibilidad de tecnologías de incorporación a las mezclas asfálticas.
4. Existencia de especificaciones técnicas a nivel, nacional, regional y municipal.
5. Projectistas que sumen criterios de selección, técnicos (const./mant.), ambientales y ciclo de vida.
6. Organismos de financiamiento que promuevan su uso.





# LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

## PRINCIPALES PLANES DE GESTION EN LA REGION

**MEXICO**  
Norma Oficial Mexicana - NOM-161-SEMARNAT-2011

**PANAMA**  
ANTEPROYECTO DE LEY 089/2019  
SISTEMA DE CONCESIÓN RECICLAJE DE NFU

**GUATEMALA**  
PLAN DE MANEJO DE LLANTAS  
INICIATIVA 5360/2017  
PLAN PROVERDE

**COLOMBIA**  
Resolución del Ministro de Ambiente Nº 1326/17  
SISTEMA DE RECOLECCION SELECTIVA Y GESTION AMBIENTAL DE LLANTAS USADAS

**COSTA RICA**  
Reglamento sobre Llantas de Desecho Decret Nº 33745-S/2007  
PLAN NACIONAL DE RESIDUOS  
MINIST DE SALUD 2016

**PARAGUAY**  
RESOL. 627/16 PLAN DE MANEJO DE NFU

**PODER EJECUTIVO**  
**AMBIENTE**  
Decreto Supremo que aprueba el Régimen Especial de Gestión y Manejo de Neumáticos Fuera de Uso  
DECRETO SUPLENTO Nº 224-2021-MINAM

**RECICLANIP**  
o ciclo sustentável do pneu

**GENEU**  
Plan EMACRUZ, Santa Cruz de la Sierra

**CECONEU**  
RECICLO NFU

**Existen importantes iniciativas a nivel municipal, con programas con nombre propio tanto públicas como privadas**

**ECONEU**

(S-410/2021)  
PROYECTO DE LEY  
El Senado y Cámara de Diputados,....

Sistemas de gestión municipales y provinciales que son ejemplos de funcionamiento en sus respectivos países



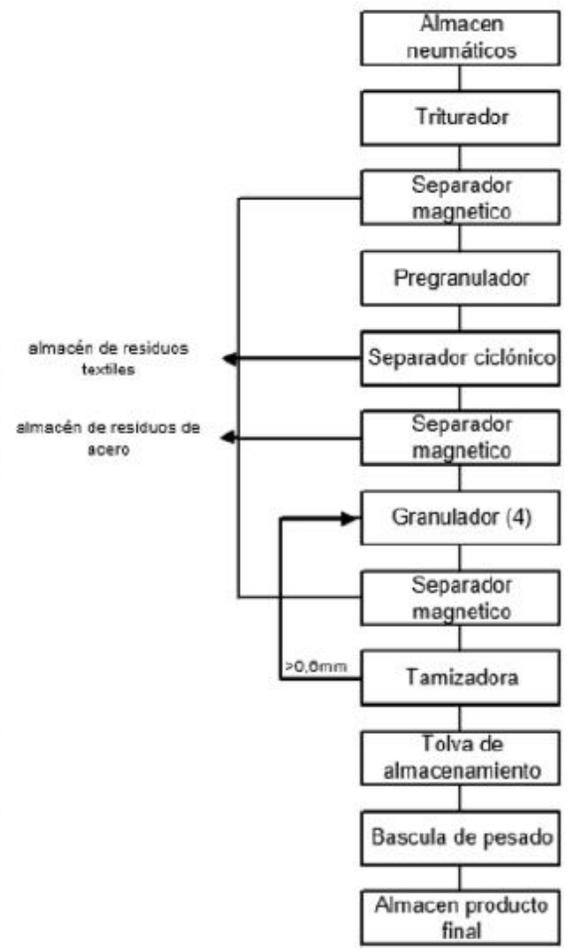
# LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

## TECNOLOGIAS DE TRITURACIÓN

EMPRESAS DEL SECTOR PRIVADO EN CONDICIONES DE PRODUCIR POLVO DE NFU < 0,6 mm (\*)

Costa Rica	2
El Salvador	1
Guatemala	1
Honduras	0
México	6
Nicaragua	0
Panamá	2
Argentina	2
Bolivia	1
Brasil	8
Chile	2
Colombia	3
Ecuador	3
Paraguay	1
Perú	2
Uruguay	2
Venezuela	2

- ✓ Algunas de las empresas forman parte de un consorcio o agrupamiento de proveedores.
- ✓ Otros resultan ser parte del sistema de concesión del sistema de gestión.
- ✓ Otras se integran a los puntos de recolección



(\*) mínimo de empresas relevadas



# LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR





## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR



Dispersión en terminal blend (Argentina)



Dispersión en planta asfáltica  
(Argentina, Chile, Panamá, México)

### DISPONIBILIDAD DE TECNOLOGIAS DE INCORPORACION A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS:

La dispersión por vía húmeda se puede hacer en:

- Central de dispersión (hasta un 10 % de polvo de NFU en asfalto)
- Al pie de planta asfáltica (hasta un 15 % sobre el peso de NFU en asfalto)



# LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

## DISPONIBILIDAD DE TECNOLOGIAS DE INCORPORACION A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS:

- ✓ Primera Planta de producción en México
- ✓ Disponibilidad de importación en los países de la región.
- ✓ Disponibilidad de 2 marcas comerciales en el mundo disponibles en Latinoamérica



Planta de RARX, SACYR, Neotech Guanajuato, México (2022)

## DISPONIBILIDAD DE TECNOLOGIAS DE INCORPORACION A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS (Brasil):

- 500 a 1000 neumáticos /km terminal blend
- 1200 neumáticos/km continuous blend
- Se estima que en Brasil existen cerca de 20.000 km pavimentados
- 3000 km mezclas granulometría discontinua



## DISPONIBILIDAD DE TECNOLOGIAS DE INCORPORACION A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS (México):

- Mayoritariamente Vía húmeda
- Desde 2021 Granulo de caucho pre digerido
- Entre las distintas administraciones:
- > De 15.000 Km al 2021.
- En 2022 se llega con el caucho pre digerido Consumo de hasta 2000 neumáticos/km (ALTA VISCOSIDAD)
- Ejecución de SMA modificada con NFU
- sin fibra de celulosa



PROYECTO	TIPO DE MEZCLA	ESTATUS
Autopista Pirámides-Tulancingo en el estado de México e Hidalgo	Gap Graded	Tramo construido
Calle de rodaje del Aeropuerto Internacional de Guadalajara	Densa	Tramo construido
Libramiento Oriente de Morelia	Tipo SMA	Tramo en construcción
Autopista Pátzcuaro - Uruapan	Tipo SMA	Tramo construido
Pista del Aeropuerto Internacional de Tijuana	Tipo SMA	Tramo en construcción

## DISPONIBILIDAD DE TECNOLOGIAS DE INCORPORACION A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS (Argentina):

### Vía seca:

- Experiencia en Ciudad de Buenos Aires

### Vía húmeda:

- Ciudad de La Plata
- Ciudad de Buenos Aires
- YPF S.A.
- Petroquímica Panamericana S.A.

### Agenda actual:

- Ciudad de Córdoba pavimentación urbana, inicio 8 de mayo 2023
- 50 km Dirección Provincial de Vialidad provincial de Misiones Argentina, inicio junio 2023





## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

La recomendación de la Unión Europea, (UE) 2021/2279 del 15 de diciembre de 2021 sobre el uso de los métodos de la huella ambiental para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida, es una herramienta que establece importantes indicaciones a cumplir a la hora de seleccionar un proyecto o comercializar un producto.

En América, varios organismos (EPA, DOTs, Vialidades, Ministerios) han comenzado a valorar dos aspectos centrales de la organización y de los procesos de producción

- **Los consumos de energía**
- **Y la cantidad de CO2 generado**

### Manual de Ciclo de Vida de Pavimentos





## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

### Análisis del Ciclo de Vida - LCA Life Cycle Assessment

Metodología que evalúa impactos ambientales potenciales de un producto o un sistema mediante la contabilización de los intercambios ambientales (emisiones, consumo de reactivos y energía) durante todo el ciclo de vida.

La característica única es el enfoque en los productos desde una perspectiva de ciclo de vida.

El alcance global de LCA es útil para evitar el desplazamiento de problemas, por ejemplo, de una fase del ciclo de vida a otra, de una región a otra, o de un problema ambiental a otro.





# LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

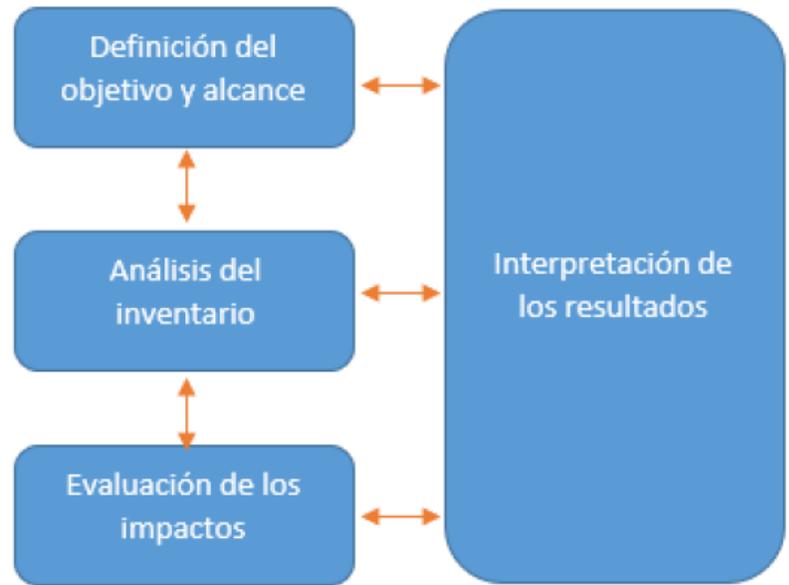


Imagen 1: Metodología del ciclo de vida

## Norma ISO 14040 -14044 de evaluación de Ciclo de Vida

- Se propone considerar el LCA de los materiales al seleccionar un proyecto de infraestructura vial.
- Abarca desde la primera extracción de materiales, hasta el cumplimiento de la vida útil de la carretera.

**Se estima que el 72% de las emisiones del sector transporte corresponden a la construcción y mantenimiento de carreteras.**



# LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

## Los consumos:

Se debe confeccionar el inventario del ciclo de vida, donde se cuantifican todos los ingresos de consumos y evaluaciones de los materiales y procesos.

Luego se identifican algunos de los parámetros que se deben cuantificar para al llevar a cabo un análisis de ciclo de vida.

## Inventario del ciclo de vida

- Uso de energía primaria renovable
- Uso de energía renovable de materiales vírgenes
- Uso total de energía renovable
- Uso de energía primaria no renovable
- Uso de energía no renovable de materiales vírgenes
- Uso total de energía no renovable
- Reciclaje de material utilizado
- Disposición de residuos no peligrosos
- Disposición de residuos peligrosos
- Disposición de residuos radioactivos
- Uso neto de agua

## Las emisiones:

Según el análisis que se realice se pueden evaluar varias emisiones, pero la más común es la de gases potenciales de efectos invernadero (GWP por sus siglas en ingles).

Este parámetro, conjuga 3 gases a tener en consideración:

- dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el indicador más comúnmente buscado en los estudios de análisis de ciclo de vida de pavimentos.
- Los otros dos gases que forman el GWP son el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

$$GWP = CO_2 + 23 CH_4 + 296 N_2O$$



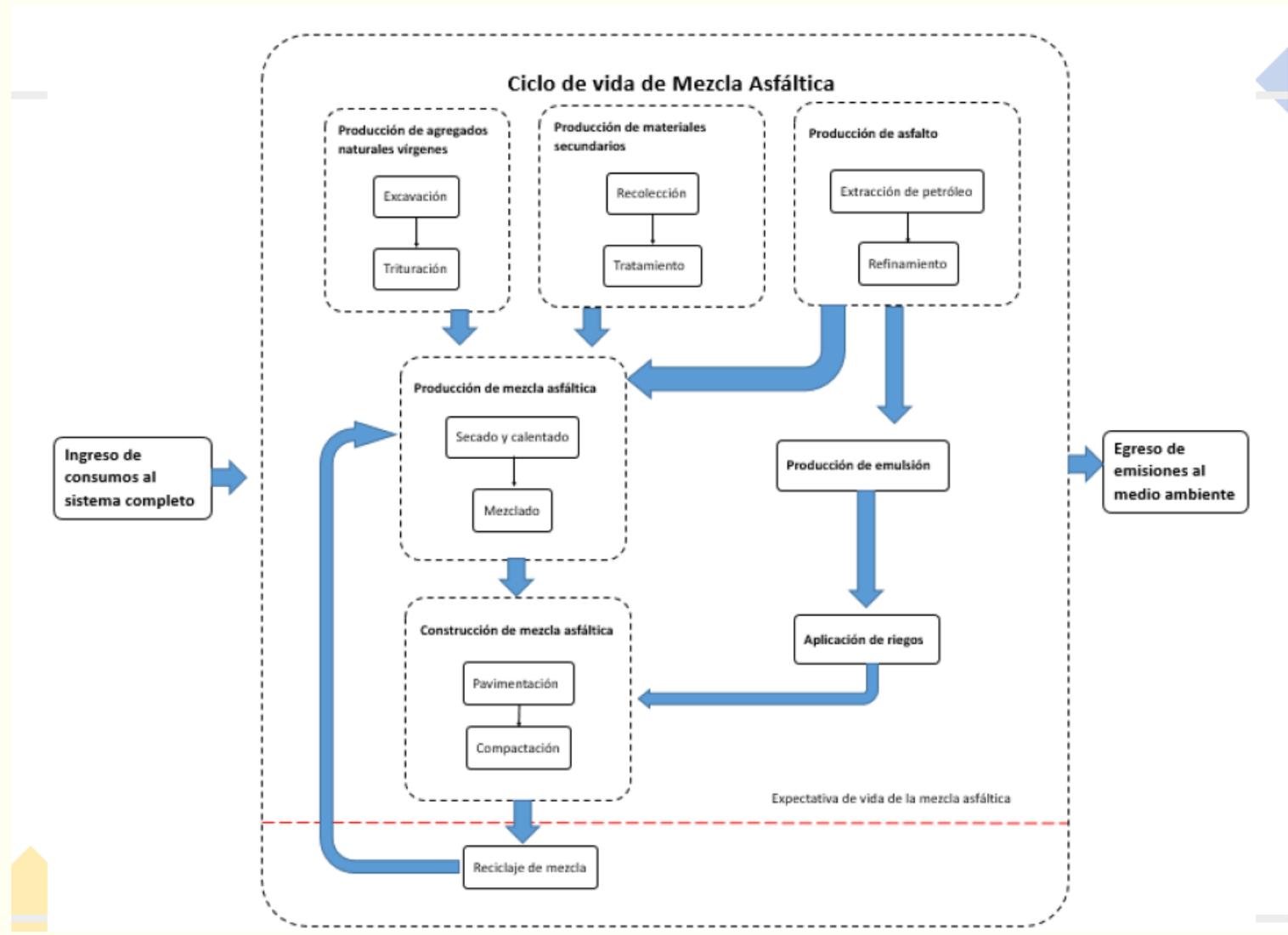
## Indicadores de impacto de ciclo de vida:

- Acidificación
- Eco-toxicidad
- Eutrofización
- Agotamiento de combustibles fósiles
- Agotamiento de la capa de ozono
- Calentamiento global
- Salud humana



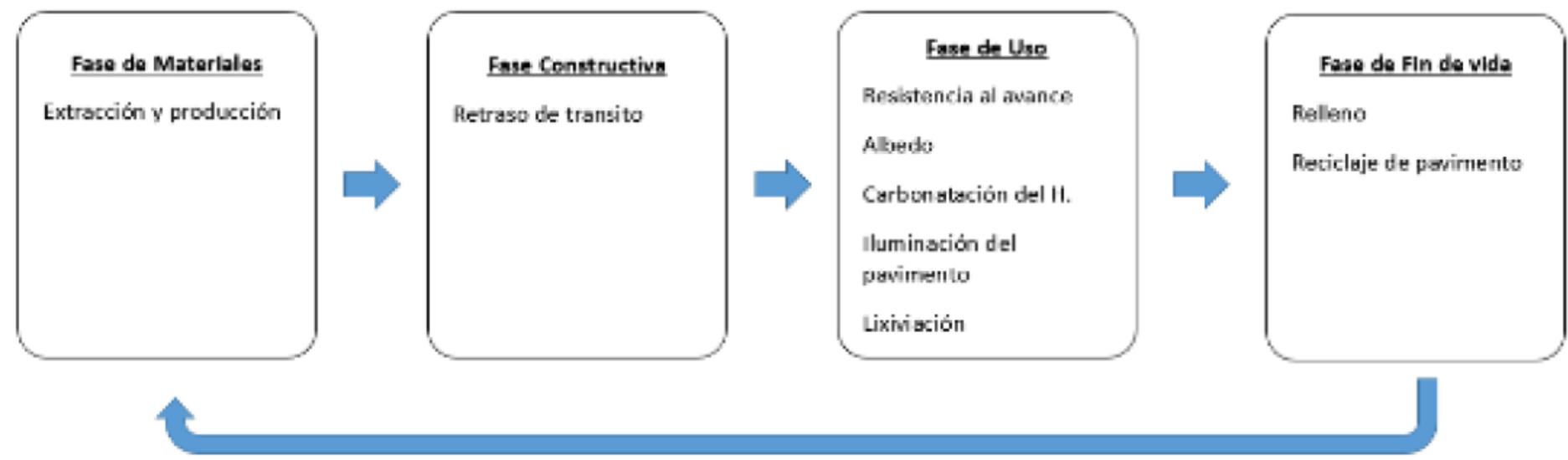


# LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR





## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR



En cuanto a programas de LCA aplicados a la temática, se puede contar con SEVE (French Association of Road Contractors), ROAD-RES (Birgisdottir) PaLATE, el cual esta presentado en una planilla de Excel, de muy resolutiva interfaz (University of California).

[Federal Highway Administration of the U.S. Department of Transportation, called LCA Pave tool. LCA Pave is a Microsoft® Excel®](#)

# LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

Library

Use the controls below to define library items that will be available for use when conducting an analysis session.

Library Selection

Materials | Equipment | Waste | Transport | Mix Designs | Activities

Library Collection: 'Equipment'

Selection Details: 'Equipment' Item

View: 1: Properties | 2: Impact Indicators | 3: Metadata

Life-Cycle Inventory | Life-Cycle Impact Assessment

Library Item: Plate Compactors, Nonroad Diesel Fuel, 11 < hp <= 16

Quantity: 1 hour

Included?	Impact Indicator	Quantity	Units
Yes	Acidification	0.0191	kg SO2 eq
No	Ecotoxicity	No Data	CTUeco/kg
Yes	Eutrophication	0.0112	kg N eq
No	Fossil Fuel Depletion	No Data	MJ surplus
Yes	Global Warming	3.54	kg CO2 eq
Yes	Human Health - Cancer	0.05E-09	CTU/kg
Yes	Human Health - NonCancer	8.82E-09	CTU/kg
Yes	Human Health - Particulates	0.0027	kg PM2.5 eq
Yes	Ozone Depletion	1.20E-10	kg CFC-11 eq
Yes	Smog Formation	0.0823	kg O3 eq

Library

Use the controls below to define library items that will be available for use when conducting an analysis session.

Library Selection

Materials | Equipment | Waste | Transport | Mix Designs | Activities

Library Collection: 'Equipment'

Selection Details: 'Equipment' Item

View: 1: Properties | 2: Impact Indicators | 3: Metadata

Life-Cycle Inventory | Life-Cycle Impact Assessment

Library Item: Rollers, Nonroad Diesel Fuel, 100 < hp <= 175

Quantity: 1 hour

Included?	Impact Indicator	Quantity	Units
Yes	Acidification	0.1321	kg SO2 eq
No	Ecotoxicity	No Data	CTUeco/kg
Yes	Eutrophication	0.0083	kg N eq
No	Fossil Fuel Depletion	No Data	MJ surplus
Yes	Global Warming	41.08	kg CO2 eq
Yes	Human Health - Cancer	3.22E-08	CTU/kg
Yes	Human Health - NonCancer	4.84E-08	CTU/kg
Yes	Human Health - Particulates	0.0175	kg PM2.5 eq
Yes	Ozone Depletion	1.39E-09	kg CFC-11 eq
Yes	Smog Formation	4.69	kg O3 eq

Library

Use the controls below to define library items that will be available for use when conducting an analysis session.

Library Selection

Materials | Equipment | Waste | Transport | Mix Designs | Activities

Library Collection: 'Equipment'

Selection Details: 'Equipment' Item

View: 1: Properties | 2: Impact Indicators | 3: Metadata

Life-Cycle Inventory | Life-Cycle Impact Assessment

Library Item: Pavers, Nonroad Diesel Fuel, 100 < hp <= 175

Quantity: 1 hour

Included?	Impact Indicator	Quantity	Units
Yes	Acidification	0.1345	kg SO2 eq
No	Ecotoxicity	No Data	CTUeco/kg
Yes	Eutrophication	0.0085	kg N eq
No	Fossil Fuel Depletion	No Data	MJ surplus
Yes	Global Warming	41.83	kg CO2 eq
Yes	Human Health - Cancer	3.28E-08	CTU/kg
Yes	Human Health - NonCancer	4.93E-08	CTU/kg
Yes	Human Health - Particulates	0.0179	kg PM2.5 eq
Yes	Ozone Depletion	1.42E-09	kg CFC-11 eq
Yes	Smog Formation	4.77	kg O3 eq



# LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

## 1 - Fase de extracción de materias primas.

Todos los consumos y emisiones que se generan van a utilizar.

Ejemplo: Construcción de una base g proceso de explotación de cantera y tri

Ejemplo: Mezcla asfáltica: Analizar e petróleo, destilación y otros pasos i asfalto.

De igual forma con los agregac cementicios, residuos de constru geotextiles, etc.

Conocer la potencia, la eficiencia y e maquinaria que interviene en el proces



## 2 - Fase de elaboración.



**6 – Fin de Vida Útil.** Finalizado el periodo de vida proyectado para la obra, se debe plantear la remoción total de la estructura del pavimento o parte de ella. También si se va a disponer de dicho material en un vertedero como relleno, o reutilizado para otra obra posterior.

**Transporte.** Es un punto vital a considerar, es transversal a todas las fases del estudio. Por lo general, en una obra vial las distancias a recorrer son de una consideración importante.

En la fase de extracción de materiales: Transporte realizado desde canteras hasta la planta asfáltica.

En la fase de elaboración: Transporte del material elaborado hacia la obra.



## 3 - Fase de Construcción.

Contener de los materiales elaborados. Las emisiones y consumos del siste una pavimentadora en el caso de la asfáltica, por recicladoras en el c estabilización.

Contabilizar las emisiones de los rodi que le den la terminación adecuada a

Para la construcción de una bas contemplar motoniveladoras, camior pata de cabra y otros.

como recicladora superficial o profunda. Se debe tener en cuenta las distintas intervenciones que se realicen durante la vida útil del proyecto.



## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR



### CASO GUYANA

- Reciclado profundo de la infraestructura existente
- Mezcla tipo Stone Mastic Asphalt (SMA) con Asfalto modificado con SBS en comparación con un SMA con utilización de polvo neumático fuera de uso pre-digerido o activado en asfalto.

**Mezcla Asfáltica modificada con polvo de NFU.**





## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

### Asfalto modificado con SBS vs Asfalto convencional

- Eliminación de la fibra de celulosa vs la incorporación de polvo predigerido (tasa de incorporación 2,5 % considerando 6 % de asfalto en la mezcla asfáltica).
- Temperatura elaboración de la mezcla con SBS 180 °C
- Temperatura de elaboración de asfalto convencional 170 °C
- Costos energéticos de producir NFU predigerido vs producir SBS
  
- Asfalto de Trinidad y Tobago
- Agregados 100 km x barco
- Caucho predigerido y SBS México





## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

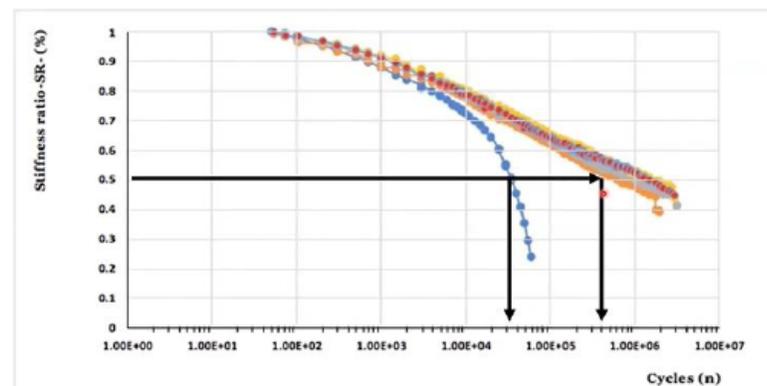
- SMA CON ASFALTO CON SBS EN 25 AÑOS 1,5 DE REPOSICION.

- SMS CON ASFALTO + NFU PREDIGERIDO EN 25 AÑOS 1,15 DE REPOSICION

En base a las dosificaciones realizadas

Y ensayos de desempeño (Fatiga, módulo, ahuellamiento)

Y al modelo de deterioro utilizado

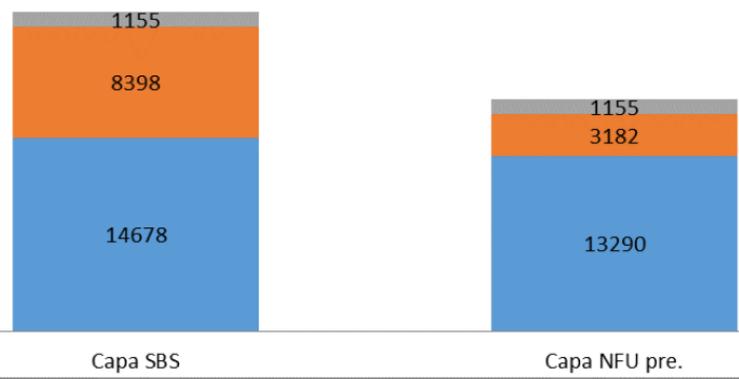




## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

### Consumos de energías no renovables (MJ)

■ Superficie nueva ■ Rehabilitación ■ Fin de vida util

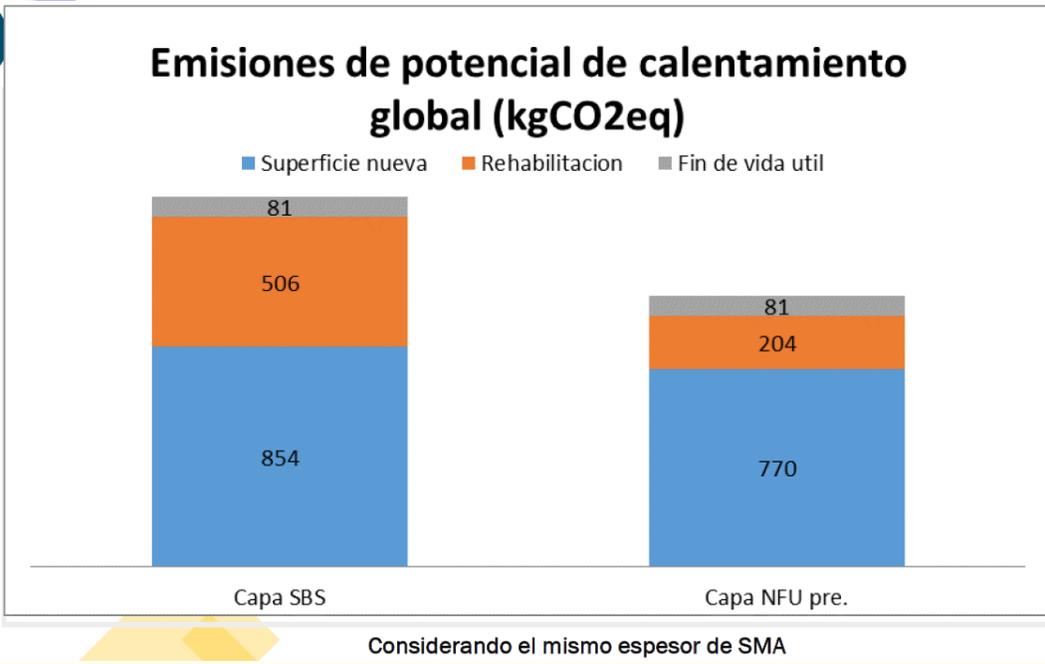


Consumos de energías no renovables (MJ)		
Etapa de la obra	SMA Asfalto con SBS + Fibra de celulosa	SMA Asfalto convencional + polvo de caucho pre-digerido
Construcción de la capa	14.678	13.290
Estrategia de rehabilitación a 25 años 1,50 %	8.398+1.155	
Estrategia de rehabilitación a 25 años 1,15 %		3.182+1.155
<b>TOTAL DE ENERGIA NO RENOVABLE (MJ)</b>	<b>24.231</b>	<b>17.627</b>

**Tabla 4: Consumos de energía de producción de SMA en 25 años de vida de servicio para igualdad de espesores**



## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR



Emisiones de potencial de calentamiento global (KgCO2eq)		
Etapa de la obra	SMA Asfalto con SBS + Fibra de celulosa	SMA Asfalto convencional + polvo de caucho pre-digerido
Construcción de la capa	854	770
Estrategia de rehabilitación a 25 años 1,50 %	506+81	
Estrategia de rehabilitación a 25 años 1,15 %		204+81
<b>EMISIONES DE POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GOBLAL KgCO2eq</b>	<b>1441</b>	<b>1055</b>

**Tabla 5. Emisiones de potencial de calentamiento global (KgCO2eq) para producción de SMA 25 años de vida de servicio para igualdad de espesores**



## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

### ESTRUCTURA DE CADA RECICLADO ESPECIFICADO

#### Materiales intervinientes

- material existente a reciclar
- materiales de aporte

#### Criterios de diseño

- Límites granulares
- ensayos

#### Procedimientos constructivos

- Equipos
- Control de calidad
- Tolerancias

MANUAL DE RECICLADO DE  
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS





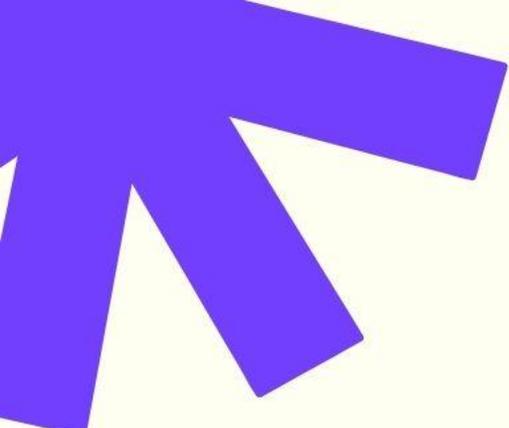
## LA APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

### Agentes estabilizantes:

- Cemento portland
- Cal
- Emulsiones asfálticas
- Asfalto espumado
- Granular
- Otros agentes

### LCA

- Ciclos constructivos
- Distancias de transporte
- Nueva función de los materiales existentes



Los organismos de financiamiento de la infraestructura ponen especial interés en estos proyectos y programas.

Ministerios de infraestructura y vialidades + Ministerios de Ambiente y sus agencias (marco regulatorio)

Industria de la construcción, industria de procesos.  
Gran oportunidad de participación de las Universidades

Ingeniería – economía – ambiente – social – estadística -.....  
Proyectos interdisciplinarios

Gran interés de los gobiernos locales, regionales, nacionales o supra nacionales

ALGUNOS DE  
LOS ACTORES  
PRINCIPALES  
IDENTIFICADOS



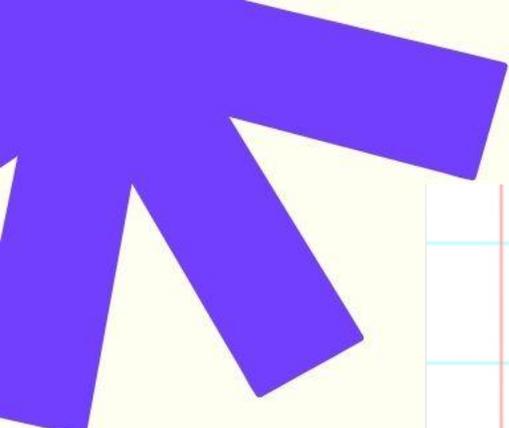
ALGUNAS  
LECTURAS  
FINALES

- La sostenibilidad y sustentabilidad son ejes prioritarios en el diseño de la infraestructura vial.
- Los proyectos de I+D necesariamente presentan tratamiento interdisciplinar
- La viabilidad de los proyectos y su impacto guardan una estrecha relación con los actores que han participado en el financiamiento y ejecución de los mismos.



ALGUNAS  
LECTURAS  
FINALES

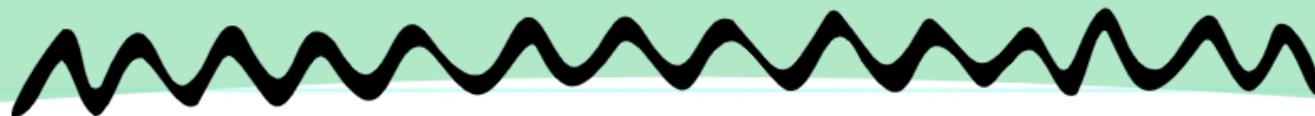
- Las Universidades Latinoamericanas recorren un camino de trabajo colaborativo entre instituciones de CyT y las distintas especialidades.
- Creación de consorcios colaborativos con actores de la CADENA DE VALOR identificada.
- Las producciones se encuentran vinculadas a grupos de investigación consolidados, grupos en formación y carreras formales de posgrado.



*Muchas gracias!!*



## INFRAESTRUCTURA VIAL SOSTENIBLE Y SUSTENTABLE



*Compromiso colectivo, interdisciplinario, con una universidad articuladora de las estrategias convocantes.*



*Gerardo Botasso - gerardobot@hotmail.com.ar*