

Geosintéticos como solución sostenible para el desarrollo de infraestructura civil

Geosynthetics as a sustainable solution for civil infrastructure development

Lizeth Ardila & Emília Andrade

Departamento de Ingeniería, Huesker, Brasil. lizeth.ardila@huesker.com.br

Augusto Mendiz

Departamento de Ingeniería, Coripa, Argentina

Giselle Vega

Departamento de Ingeniería, Huesker, Chile

RESUMEN: La tecnología de aplicación de geosintéticos se ha destacado como una solución viable en proyectos de infraestructura de ingeniería civil como terraplenes, estructuras de contención, carreteras, refuerzo de suelos blandos, estribos de puentes, entre otros. Geomallas, geotextiles y geocompuestos están dentro del espectro de soluciones que pueden ser aplicadas en obras para mejorar características de resistencia, capacidad de carga, granulometría, protección, permeabilidad, entre otras. Además de estas características, la aplicación de geosintéticos en obras civiles se destaca de los sistemas convencionales por su practicidad de instalación, durabilidad, impacto ambiental, relación con el medio ambiente y reducción del plazo de ejecución de las obras. El objetivo de este documento es presentar el estado del arte de las soluciones con geosintéticos en el ámbito del desarrollo de infraestructuras civiles, teniendo en cuenta los beneficios y ventajas de estas aplicaciones en el campo de la sostenibilidad. Adicionalmente, pretende aportar una reflexión y difusión de nuevas técnicas que encajen dentro del desarrollo sostenible de infraestructuras civiles.

PALABRAS CLAVE: Sostenibilidad, Geosintéticos, Infraestructura civil.

ABSTRACT: Geosynthetics application technology has been highlighted as a feasible solution in civil engineering infrastructure projects such as embankments, retaining structures, roads, soft soil reinforcement, bridge abutments, among others. Geogrids, geotextiles and geocomposites are within the spectrum of solutions that can be applied in works to improve characteristics of resistance, load capacity, granulometry, protection, permeability, among others. In addition to these characteristics, the application of geosynthetics in civil works stands out from conventional systems due to its practicality of installation, durability, environmental impact, relationship with the environment and reduction of the execution time of the works. The objective of this document is to present the state of the art of geosynthetic solutions in the field of civil infrastructure development, considering the benefits and advantages of these applications in the field of sustainability. Additionally, it aims to provide a reflection and dissemination of new techniques that fit within the sustainable development of civil infrastructures.

KEYWORDS: Sustainability, Geosynthetics, Civil infrastructure.

1 INTRODUCCIÓN

La construcción civil es una industria que, sin duda, tiene un gran impacto en el medio ambiente, siendo realizada a través de técnicas que pueden causar daños significativos a los ecosistemas y la biodiversidad. Las diferentes etapas como la ejecución de la obra o el transporte de materiales de construcción pueden generar emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes.

Otro aspecto significativo es la generación de residuos durante los procesos de construcción civil. El destino final de estos residuos puede ser una preocupación importante, ya que pueden causar graves alteraciones en el paisaje urbano y la formación de áreas degradadas. A menudo, estos residuos son depositados en vertederos, lo que puede generar problemas ambientales a largo plazo.

Como se ilustra en la Figura 1, desde la extracción de materias primas hasta la generación de residuos, esta actividad provoca grandes impactos al medio ambiente. Por lo tanto, es importante que ingenieros, constructoras, proyectistas, diseñadores y demás actores involucrados, tomen medidas para minimizar estos impactos, incluyendo la utilización de técnicas y materiales más sostenibles, así como, la gestión adecuada de residuos de construcción.

Es importante destacar que la construcción civil, y en particular la construcción de obras de infraestructura desempeña un papel destacado en el desarrollo de las economías y en la mejora de la calidad de vida de las comunidades. Por lo tanto, en la concepción de proyectos de este tipo, es pertinente adoptar un marco de prácticas que mantengan el uso adecuado de los recursos, las prácticas éticas en las relaciones laborales y con la sociedad, la práctica de la gestión de riesgos, y principalmente, el propósito de

la obra en el contexto del desarrollo social y el compromiso de metas relacionadas con la Sostenibilidad particularmente, a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) promovidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2019) para la Agenda 2030..

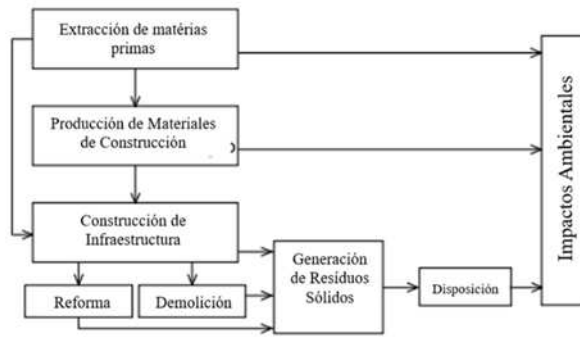


Figura 1. Impactos ambientales de la cadena de la construcción civil. Adaptado de Das Graças e Garcia (2009).

En el contexto de estos objetivos algunos de ellos destacan con mayor protagonismo para el sector de la construcción, entre ellos ODS 7 – Energía limpia; ODS 8 – Trabajo digno y crecimiento económico; ODS 9 – Industria, innovación e infraestructura; ODS 11 – Ciudades y comunidades sostenibles; y ODS 13 – Acción contra el cambio climático.

En este escenario, los geosintéticos se presentan como una alternativa destacada a los métodos convencionales para cumplir con los ODS 9, 11 y 13. Estas soluciones pueden reducir significativamente el impacto ambiental de las estructuras de infraestructura, al reemplazar técnicas que consumen mucha energía y emiten altos niveles de gases de efecto invernadero. (Stucki, 2011).

Los geosintéticos se fabrican a partir de polímeros sintéticos, como el poliéster PET, el polipropileno PP, el alcohol polivinílico PVA, y pueden tener una alta resistencia mecánica y química. Estos materiales pueden desempeñar una o varias funciones: refuerzo, filtración, drenaje, protección, separación, barrera de flujo, control de erosión, entre otras.

En vista del potencial que presentan los geosintéticos como solución viable dentro de la infraestructura civil, es importante destacar algunos ejemplos concretos de sus aplicaciones para evidenciar su capacidad de reducir significativamente el impacto ambiental. Su capacidad de mejorar la resistencia, la durabilidad y la estabilidad de estas estructuras, al tiempo que reducen el uso de materiales tradicionales y el consumo de energía asociado a su producción y transporte, los convierte en una opción altamente favorable desde el punto de vista ambiental.

El uso de geosintéticos aplicados a la geotecnia han demostrado ser una opción eficaz y sostenible para la construcción de infraestructuras, incluyendo sistemas de contención, carreteras, ferrocarriles y puentes, entre otros. De este modo, el propósito de

este artículo es destacar las soluciones con geosintéticos en el desarrollo de infraestructuras civiles, describiendo los beneficios y ventajas que estas aplicaciones ofrecen en términos de sostenibilidad.

2 TALUDES Y SISTEMAS DE CONTENCIÓN

Los muros de contención reforzados con geosintéticos ofrecen un menor impacto ambiental en comparación con los muros de hormigón. WRAP (2010); Stucki *et al* (2011), Fraser *et. al* (2012) Pisini *et al* (2023) los muros de contención reforzados con geosintéticos mostraron menores impactos ambientales que los muros de contención convencionales, construidos con concreto como material principal. Dichos beneficios ambientales, pueden conducir a una reducción sustancial en la huella de Dióxido de Carbono CO₂ de los materiales y su transporte al sitio de construcción, evidenciando reducciones de más del 80% en la huella de CO₂.

Por otro lado, Fraser *et. al* (2012), demostraron una reducción significativa del impacto ambiental con la aplicación de soluciones con geosintéticos para reemplazar las soluciones convencionales en la construcción de estructuras de contención, especialmente en lo que respecta a la emisión de gases de efecto invernadero y el Potencial de Calentamiento Global (GWP- Global Warming Potential). El estudio comparó sistemas en suelo reforzado con geosintéticos y un muro de flexión de hormigón, como se ilustra en la figura 2. Los resultados evidenciaron una reducción del 84% cuando se usan los sistemas con geosintéticos.

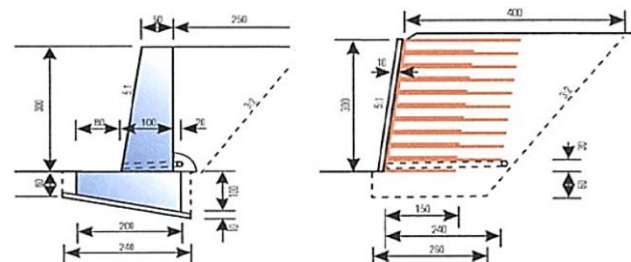


Figura 2. Muros de contención estudiados a) Muro de flexión en concreto b) Muro de suelo reforzado con geosintéticos. Fraser *et al* (2012).

Schmidt *et al.* (2023) compararon el Potencial de Calentamiento Global (GWP- Global Warming Potential) en dos métodos de construcción de suelo reforzado con geomallas, el primero con fachada con módulos de malla metálica y el segundo con fachada en placas de hormigón. Las evaluaciones presentadas en la tabla 1, muestran la cuantificación de Kg de CO₂ por m² de fachada de muro. Como resultado se encontró que las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de la producción de materiales para muros de suelo reforzados con geomalla son casi la mitad de las de suelo estabilizado mecánicamente con una cara en placas de hormigón. Esta diferencia se debe principalmente a la reducción de los volúmenes de hormigón utilizados, ya que el cemento tiene un elevado impacto medioambiental en su fase de producción. El acero consumido por ambas soluciones, y en particular el galvanizado, también representan una gran parte de las emisiones

vinculadas a los sistemas, seguidos de la producción de refuerzos geosintéticos.

a) Suelo reforzado con Geomallas H 9 m			
Consumo de material/m ² de fachada:			GWP: [kg CO ₂ eq./m ²]
Arena	0,3	m ³	2,142
Fortrac 55T	7,8	m ²	11,23
Fortrac 80T	3,9	m ²	7,49
Basetrac Tejido 25	3	m ²	1,89
Agregado	0,8	m ³	8,32
Modulo malla (acero galvanizado)	0,7	ONU.	21,21
Total [kg CO ₂ eq./m ² de fachada]			52,28

b) Suelos estabilizados mecánicamente con cara de losa de hormigón H 9 m			
Consumo de material/m ² de fachada:			GWP: [kg CO ₂ eq./m ²]
Hormigón	0,156	m ³	8,96E+01
Arena	0,071	m ³	0,5037984
Agregado	0,094	m ³	0,98
Acero (galvanizado)	5,969	Kg	6,66
Acero (no galvanizado)		Kg	0,00
5/16" 8.0mm	12,77	m	3,97
Total [kg CO ₂ eq./m ² de fachada]			101,71

Tabla 1. Resultados de GWP por m² de fachada. Adaptado de Schmidt *et al.* (2023)

La construcción de infraestructuras también puede dar lugar a una serie de impactos sociales que deben considerarse cuidadosamente. Uno de los impactos sociales más inmediatos es la interrupción causada por el propio proceso de construcción. Las comunidades cercanas a los sitios de construcción pueden experimentar un aumento del ruido, los vapores de polvo y la congestión del tráfico, lo que puede afectar negativamente su calidad de vida. (Josa y Aguado, 2019).

En este escenario, la opción de construir estructuras de contención con suelo reforzado con geosintéticos puede presentar ventajas en relación con el impacto socioambiental, ya que este sistema permite utilizar el área de movimiento de tierras de las contenciones como vías de servicio, minimizando las intervenciones en el entorno social de las comunidades locales y en áreas de protección ambiental, ejecutando el frente de trabajo a lo largo del eje de trabajo y no utilizando caminos locales. Como consecuencia, se reducen significativamente los inconvenientes ocasionados por las obras, promoviendo la reducción del ruido, la

emisión de material particulado y la congestión, mitigando los impactos negativos típicos promovidos por este tipo de obras.

Otra oportunidad de implementación de mejoras es en el ámbito de análisis de los impactos sociales en las empresas constructoras. Cruz *et al.* (2023) destacan la necesidad de que se consideren temas como la seguridad de los trabajadores, la inclusión y la responsabilidad sociales corporativa, al adoptar prácticas sostenibles e innovadoras. En este sentido, al ser una solución eficiente en términos de recursos, los muros de suelo reforzado con geosintéticos representan una oportunidad para las empresas en el cumplimiento con sus objetivos de responsabilidad social corporativa, minimizando el impacto ambiental y demostrando un compromiso con prácticas constructivas éticas y responsables. Además, ventajas como la facilidad de instalación de los geosintéticos y la estabilidad que representan, reducen la necesidad de mano de obra intensiva y especializada, fomentando así la inclusión de una fuerza laboral diversa y la seguridad en el sitio de trabajo.

3 PUENTES Y VIADUCTOS

El uso de muros de suelo reforzado con geomallas actuando como estribos de puentes (también conocidos como approaches), se ha consolidado como una metodología de construcción en infraestructura vial, que surgió como alternativa a la construcción tradicional de estribos, como es el caso de estructuras de concreto armado o estructuras metálicas. La composición típica de este sistema es presentada en la Figura 3.



Figura 3. Sección típica estribos de puente con suelo reforzado con geosintéticos

Existen diversas opciones para constituir la fachada o cara vista de este tipo de estructuras. Estas opciones incluyen, hormigón proyectado o gunitado, paneles prefabricados, bloques, mampostería o piedra, e incluso el uso de un revestimiento vegetal mediante hidrosiembra. Dentro de las principales ventajas de esta técnica es que es flexibilidad, lo que la hace adecuada para suelos blandos, incluso en condiciones de sumersión. Adicionalmente, Pueden diseñarse para integrarse paisajísticamente, vegetalizando la fachada de la estructura. También es posible su fácil instalación y el empleo de materiales in situ de la propia obra, lo que permite

una importante compensación de tierras, consecuentemente reduce impacto ambiental (Silva y Forteza, 2009).

Para entender cuantitativamente el beneficio ambiental en construcción de puentes, Bizjak y Lenart (2018) estudiaron los efectos ambientales de la construcción de estribos de puentes comparando sistemas de muros de suelo reforzado y muros de concreto mediante análisis para evaluación de ciclo de vida LCA (life cycle assessment). Esta evaluación incluye la extracción de materias primas, pasando por la producción de materiales, fabricación, transporte, uso, renovación, mantenimiento, eliminación y (si es posible) el reciclado. Según la norma ISO 14040:2006, el alcance del estudio debe incluir el sistema estudiado, sus funciones, los limitantes del sistema, las categorías de impacto seleccionadas y la metodología utilizada para la evaluación de sus impactos.

Una vida útil de 100 años es actualmente la vida útil más comúnmente atribuida a los puentes nuevos, en que la construcción, el mantenimiento y el reciclado se incluyen en los cálculos. Así siendo, fueron seleccionadas como indicadores, las emisiones de contaminantes a continuación:

- a) AP - Acidificación (Acidification), mediante kilogramos de dióxido de azufre equivalentes normalizado;
- b) EP - Eutrofización (Eutrophication) mediante kilogramos de etileno equivalentes normalizado;
- c) GWP - Calentamiento global (Global warming), mediante kilogramos de dióxido de carbono equivalentes normalizado;
- d) ODP - Degaste capa de ozono (Ozone depletion) mediante CFC gases clorofluorocarbonados equivalentes normalizado;
- e) POCP - Formación fotoquímica de oxidantes (Photochemical oxidant formation) mediante kilogramos de etileno equivalentes normalizado.

Los resultados del estudio en función de los indicadores establecidos son presentados en la Figura 3 y Figura 4. Los resultados demuestran que el sistema de construcción de puentes tiene un impacto medioambiental significativamente menor que un puente equivalente construido convencionalmente con hormigón armado, ya que generan las emisiones estudiadas en menor proporción.

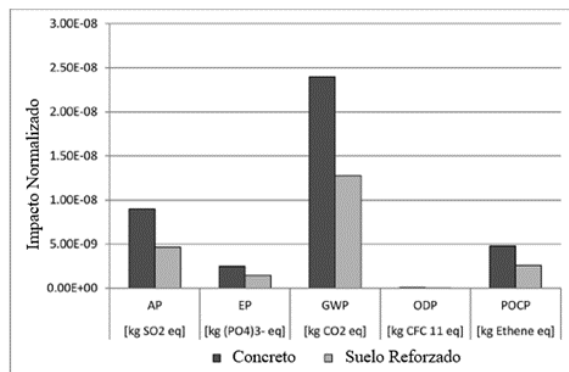


Figura 3 Impacto ambiental de puentes concreto vs suelo reforzado con geosintéticos. Adaptado de Bizjak y Lenart (2018)

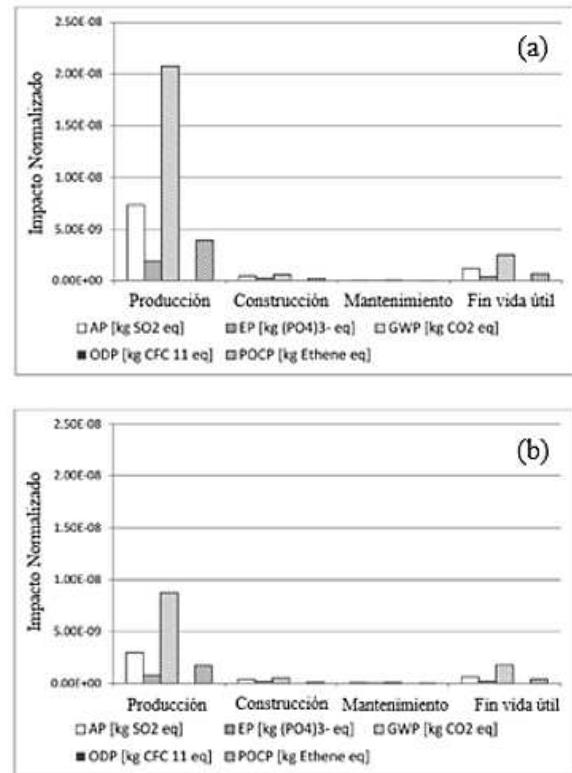


Figura 4. Impacto ambiental durante las etapas de vida útil del puente (a) Concreto (b) Suelo reforzado con geosintéticos. Adaptado de Bizjak y Lenart (2018)

La Figura 3 presenta el impacto ambiental total para cada uno de los indicadores durante el ciclo de vida del puente. Las emisiones más significativas para los dos sistemas constructivos son las emisiones de dióxido de carbono que contribuyen al calentamiento global, seguidas de las emisiones de acidificación y formación fotoquímica de oxidantes. En todos los efectos estudiados el sistema construido con suelo reforzado con geosintéticos representa la mitad o menos de las emisiones generadas por un sistema convencional de concreto. La Figura 4 evidencia congruentemente los resultados mencionados y se evidencia que la etapa que genera mayor contaminación es la etapa de producción de materiales.

Mediante el estudio es evidenciado que el uso de geosintéticos en sistemas de puentes representa ventajas significativas. Esto demuestra la importancia de reducir el impacto ambiental en la renovación de infraestructuras viarias, mediante el uso de materiales con bajas emisiones de carbono y la posibilidad de reciclar los componentes al final de su vida útil.

Los sistemas de puentes construidos con suelo reforzado con geosintéticos son una opción más sostenible que las tradicionales, ya que tienen un menor impacto en el medio ambiente y pueden contribuir al desarrollo sostenible de las infraestructuras civiles.

4 CARRETERAS

Debido a diversas condiciones climáticas, locales y temporales, las vías y carreteras pierden su capacidad funcional y los métodos tradicionales a menudo no toman en cuenta los problemas que surgen durante su vida útil. Es por esto que el uso de los geosintéticos viene siendo utilizados con gran aceptación y éxito para cumplir funciones que contribuyen con el mejor desempeño de las vías o carreteras como, por ejemplo: refuerzo, separación, filtración, drenaje y protección; las soluciones más convencionales para estas estructuras son: mejoramiento de capacidad portante, estabilización de la subrasante, disminución de problemas asociados con la presencia de arcillas expansivas (cargas) y problemas de filtración.

Con el importante desarrollo de los geosintéticos, las geomallas han sido aplicadas con suceso para refuerzo de los pavimentos asfálticos nuevos y rehabilitados. Las geomallas proporcionan una alta resistencia a la tracción dentro del pavimento, complementando las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

El control del reflejo de grietas en pavimentos es fundamental para su buen desempeño funcional e estructural, así como para la eficacia económica de la rehabilitación del pavimento. Dentro de este contexto, la incorporación de las geomallas de poliéster en el concreto asfáltico han traído beneficios en obras de rehabilitación especialmente en situaciones donde el potencial para el reflejo de las grietas es elevado. El paso de una carga de rueda en movimiento produce dos tipos de cargas críticas: flexión y corte.

La incorporación de elementos geosintéticos como geomallas o geocompuestos de poliéster se ha visto necesario con la finalidad de reducir los mantenimientos en la reparación de vías o de capas asfálticas, cabe resaltar que esta incorporación de estos elementos no disminuyen el espesor a re colocar; por ejemplo si en una vía se va a realizar un mantenimiento de pavimento flexible y fresar un espesor de 5 cm para luego colocar otro espesor nuevo de 5cm, cuando se considere la utilización de una Geomalla de poliéster, estos espesores seguirán siendo los mismos, con la diferencia que el aporte que brindara este elemento será de aumentar la vida útil de este pavimento nuevo colocado y evitara mantenimientos o fresados con mucha frecuencia y esto hasta en 3 veces

Leite y Thesseling (2015). demostraron esta tratativa mediante el estudio de carreteras municipales (Alemania) donde fueron utilizados refuerzos asfálticos de poliéster, donde se tenía una vía muy transitada y donde en su mayoría eran camiones de gran tamaño, ya que es una vía fronteriza con Países Bajos. La vía presentaba graves grietas en forma de piel de cocodrilo, grietas longitudinales y transversales a gran escala, por lo que tras una evaluación se determinó que se tenía que realizar el fresado de 5 cm debido a la problemática existente y esto daría una vida útil del nuevo pavimento de aproximadamente 2 años.

Como solución fue propuesto el uso geomallas de poliéster como refuerzo asfáltico sobre la capa fresada y con ligante, donde la capa de rodadura a colocar seguiría siendo de 5 cm, sin embargo la ventaja económica y ambiental está en que colocando este elemento se tendrá una vida útil más larga del pavimento, lo cual debería ser el objetivo principal en la mayoría de estas

aplicaciones; este proyecto se terminó de instalar en 1996 y luego tuvieron actualizaciones en el 2022 y 2009, donde se realizaron inspecciones visuales para verificar el comportamiento de la vía y asegurar que en esta no se hayan producido agrietamientos o estos sean leves y estén recién surgiendo; como resultado en el 2009 tras la última inspección se concluyó que el comportamiento y funcionalidad del elemento de refuerzo colocado era excelente, ya que no se encontraron daños en el pavimento, salvo en 2 zonas específicas pero que estos habían sido producto de un manejo del sistema de drenaje lateral de la vía, por eso se concluyó que el refuerzo cumplió su función y logro optimizar hasta en 3 veces, ya que con el sistema tradicional se estimó mantenimientos cada 4 años y como mínimo 2 años y con este sistema se ha comprobado que se tendrían que realizar cada 12 años.

Respecto a emisiones de CO₂ al ambiente, la Tabla 2 presenta las emisiones de dióxido de carbono generadas en vías sin y con refuerzo de asfalto, de acuerdo con el estudio mencionado.

Tabla 2. Comparación de Dióxido de carbono incorporado vías reforzada vs vías in refuerzo. Leite y Thesseling (2015).

	Material consumption (kg/m ²)	kg embodied CO ₂ per kg of material	embodied CO ₂ in kg/m ²	
			unreinforced	reinforced
Asphalt (~25 kg/cm)	100	0.076	7.60	7.60
Bituminous emulsion (70%, 0.3 kg/m ²)	0.21	0.55	0.12	-
Bituminous emulsion (70%, 1.0 kg/m ²)	0.70	0.55	-	0.39
Asphalt reinforcement	0.30	1.93	-	0.58
Total embodied CO ₂ for rehabilitation (kg/m ²)			7.72	8.57
Improvement factor (-)			1	3
Design life (improved)			4	12
Total embodied CO ₂ per year design life (kg/m ² /year)			1.93	0.71
ECO ₂ saving per m ² and year of Design life (%)				63
Total Project CO ₂ saving (kg)				73,200

El estudio evidencia que el uso de estos materiales al tiempo de vida útil del pavimento se obtiene como resultado que la utilización de Poliéster tendría un menor impacto de generaciones de emisiones de CO₂ al ambiente, ya que este emitiría una cantidad de 8.57 kg de CO₂ cada 12 años, mientras que el sistema convencional de fresado y recolocado de asfalto emitiría 7.72 kg de CO₂ cada 4 años (Teniendo una emisión en 12 años de 30.88 Kg de CO₂). Por ejemplo, para un caso donde el área tratada fue de 5,000 m², estaríamos hablando que con la utilización del refuerzo asfáltico de

poliéster se aumentó el tiempo d mantenimiento de 4 a 12 años y se ahorró un total de dióxido de carbono incorporado de 73,200 Kg en 12 años.

5 FERROCARRILES

El uso de geosintéticos representa una innovación significativa en el diseño y construcción de pavimentos para vías férreas ofreciendo una serie de ventajas tanto en términos de rendimiento técnico como de sostenibilidad ambiental. El pavimento ferroviario es sometido a cargas dinámicas y requiere una base resistente y estable para garantizar su durabilidad y seguridad operativa. Los geosintéticos, como las geomallas y los geotextiles, se utilizan para reforzar y estabilizar la subrasante y las capas de base del pavimento inclusive balasto y subbalasto, mejorando así su capacidad soporte y reduciendo la deformación. La ventajas del uso de refuerzo geosintético en la reducción de asentamientos son presentadas en Figura 5 conforme estudios de Birmingham (2006).

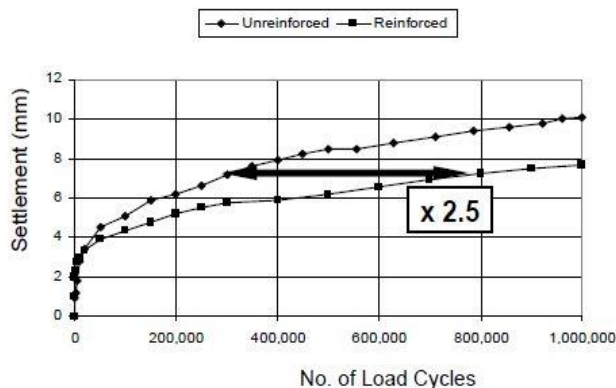


Figura 5. Gráfico de deformaciones de un pavimento ferroviario en función del número de ciclos, con y sin refuerzo geosintéticos. Birmingham (2006)

Además, en el caso del geotextil no tejido bajo balasto funciona como filtro y separación, evitando que el material fino del terreno natural o de la subbase se mezcle con la piedra del balasto. Esto evita el bombeo de finos, manteniendo las propiedades del balasto a lo largo del tiempo, lo cual reduce la frecuencia de intervención por mantenimiento y mejora la seguridad y las condiciones de servicio de la superestructura de vía.

La incorporación de geosintéticos en el diseño y construcción de pavimentos ferroviarios también contribuye a la reducción del consumo de materiales, transportes y energía asociados con la construcción y mantenimiento de infraestructura ferroviaria tradicional como el recambio y compactación de grandes espesores de suelo o el mejoramiento con suelo-cal y/o suelo-cemento.

El uso de geomallas permite reducir hasta en un 50% el volumen de movimiento de suelos para el pavimento ferroviario. Por ejemplo, Mendiz y De Loyola (2023), presentaron el diseño del proyecto de renovación de la Playa Ferroviaria de la Estación de Retiro de la ciudad de Buenos Aires en Argentina, donde el uso de una geomalla de refuerzo permitió utilizar el balasto reciclado

como subbalasto y reducir así el movimiento de suelo y el espesor del paquete de base del pavimento.

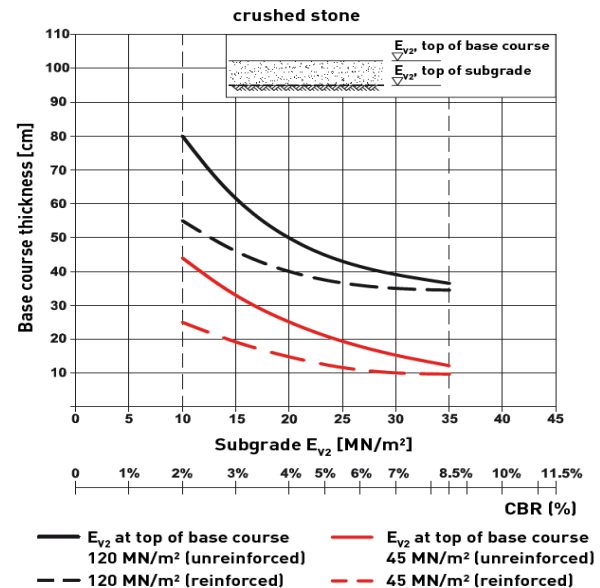


Figura 6. Nomogramas de diseño de la SVG (Swiss Association for Geosynthetics) para geogrida de polipropileno de 600 kN/m de rigidez al 5% de deformación para piedra partida.

La playa de la estación Retiro, previo a la intervención, disponía de aproximadamente 25.000 toneladas de balasto existente para su retiro y tratamiento, pero la solución con geomallas de refuerzo permitió incorporar ese balasto reciclado como subbalasto y material de relleno a trabajar solidariamente con el refuerzo.

Tabla 3 Módulos y espesores obtenidos para ferrocarril. Mendiz y De Loyola (2023)

Módulo de deformación inicial	$E_{v2 \text{ inicial}} =$	13.7 MN/m ²
Módulo de deformación final (objetivo buscado)	$E_{v2 \text{ inicial}} =$	45 MN/m ²
Espesor de base necesario a partir del SVG sin refuerzo	$h_{\text{sinref}} =$	40.00 cm
Espesor de base necesario a partir del SVG para alcanzar CBR mejorado con refuerzo	$h_{\text{refor}} =$	20.56 cm (50% de reducción)

Se reutilizaron ~20.000 toneladas, quedando menos de 5.000 toneladas para transporte y disposición final por estar contaminado con hidrocarburos u otros agentes. La reutilización del balasto reciclado fue uno de los componentes claves de diseño para la ADIFSE (Administración de Infraestructura Ferroviaria Sociedad del Estado) ya que no solo permitía reutilizar un material de excelentes propiedades, sino que reducía considerablemente los

volúmenes a transportar y disponer, bajando el impacto ambiental de la obra.

De este modo, se demuestra que, el uso de geosintéticos en aplicaciones ferroviarias ofrece una solución sostenible y eficaz para el desarrollo de pavimentos ferroviarios resiliente, de alto rendimiento y más durables, obteniéndose prestaciones mecánicas iguales o incluso superiores a los métodos de construcción convencionales, pero con menor necesidad de mantenimiento en el tiempo y de consumo de energía, reduciendo así la huella de carbono y el impacto ambiental.

6 GEOCOMPUESTOS BENTONÍTICOS

Geocompuestos de Arcilla Bentonítica o GCL han sido ampliamente utilizado para impermeabilizar suelos de forma natural. Justamente por ser un producto multicapa ofrece las ventajas de la arcilla bentonítica como sellante, en conjunto con el aporte mecánico e hidráulico de los geotextiles de las caras.

En muchas aplicaciones se utiliza como impermeabilizante único, sin embargo, es más usual que se utilice en combinación con geomembranas en Rellenos Sanitarios y Pilas de lixiviación para la extracción de oro y cobre.

Antes de la existencia del GCL, el sellado impermeable de un terreno natural requería grandes volúmenes de arcilla que se transportaban y colocaban en capas siguiendo un estricto protocolo de instalación. Así, el método tradicional de arcilla compactada CCL parte por identificar una fuente de arcilla con un nivel de impermeabilidad suficiente para el proyecto lo que puede implicar largos trayectos. Durante el proceso de colocación en capas se requiere del uso de equipos para compactar, procesos para el manejo de polvo, equipos de control de calidad que circulan permanentemente para la aceptación de la capa de arcilla compactada.

Desde el surgimiento del GCL como reemplazo de la arcilla compactada CCL han sido evidenciados beneficios medioambientales, por ejemplo, ahorro en la emisión de CO₂ menos abrasión de neumáticos que como consecuencia genera menor emisión de microplásticos al ambiente.

Respecto al ahorro en la emisión de CO₂, si se considera la emisión de CO₂ causada por el transporte de arcilla en comparación con GCL de alto desempeño para la impermeabilización de 4500m² en un relleno sanitario. Para transportar 4500m² de GCL se requiere un camión con una capacidad de carga de 24ton. Si este camión tuviera un trayecto de 600km y con una tasa de emisión de 0.928 kg/km CO₂, emitirá 557kg de CO₂.

En el caso de la arcilla compactada suponiendo un espesor mínimo de 50cm se necesitaran 2250m³ de arcilla que se transportarán en 203 camiones tolva de 20ton. Para dicho cálculo se considera que la fuente de arcilla estará a una distancia de 50km. La emisión de CO₂ por kilómetro para el camión indicado es de 0,928 kg/km, obteniendo para el proyecto un total de 9391 kg CO₂. A esta cifra se debe adicionar la emisión de los equipos de compactación en terreno. Este análisis, permite concluir que con el método de construcción convencional de arcilla compactada CCL se produce

un 94% más de CO₂ durante el transporte de la arcilla en comparación con el GCL Geocompuesto de arcilla de alto desempeño.

Respecto a menos emisión de microplásticos al ambiente, los neumáticos figuran como una de las fuentes de contaminación más importantes en la naturaleza. La abrasión del neumático y desgaste del caucho genera el desprendimiento de pequeños polímeros plásticos que se integran al entorno

Para el mismo ejemplo de cálculo, la impermeabilización con el GCL requiere de un camión que se desplaza 600km. El desgaste del neumático para camión semi-trailer es 0.0012 kg/km, obteniendo una emisión de microplásticos de 0,72kg. En el caso del método tradicional que requiere más de 200 viajes de camiones de construcción se generarán 17,21kg de microplásticos. Así, las cifras confirman que el método tradicional de arcilla compactada aportará un 95,8% más de contaminantes en forma de micropartículas en comparación con el uso del GCL:

7 CONCLUSIONES

El uso de geosintéticos en la infraestructura civil se presenta como una solución viable y sostenible para reducir el impacto ambiental de construcciones en infraestructura. Aplicaciones en como taludes, contenciones, estribos de puentes, carreteras, ferrocarriles y mejoramiento de suelos, evidencian la contribución significativa de la introducción de materiales geosintéticos en la minimización del impacto ambiental, principalmente desde la perspectiva de Potencial de Calentamiento Global (GWP- Global Warming Potential).

La capacidad para mejorar la resistencia, la durabilidad y la estabilidad de las estructuras, al tiempo que reduce el consumo de materiales y energía asociados, convierte al uso de geosintéticos en una opción altamente favorable desde el punto de vista ambiental.

REFERENCIAS

- ADIFSE Licitación Pública Nacional e Internacional 80/2016, M odernización, renovación y ampliación de la Playa de estación Retir o FFCC General Mitre e integración con ferrocarril General San Ma rtín.
- American Galvanizers Association. Environmental Product Decla ration According to ISO 14025 and ISO 21930:2017. HOT-DIP GA LVANIZED STEEL AFTER FABRICATION. 2022
- Arcelor Mittal Brasil. Declaração Ambiental de Produto confor me ISO 14025 e EM 15804. Barras de aço reforçado. Institut Baue n und Umwelt e.V. (IBU). 2018
- BIZJAK, K. F., & LENART, S. (2018). Life cycle assessment of a geosynthetic-reinforced soil bridge system—A case study. *Geotex tiles and Geomembranes*, 46(5), 543-558.
- BUDDHIMA INDRARATNA, SD. K. KARIMULLAH HUSSAI NI, AND J. S. Vinod On The Shear Behavior of Ballast-Geosynthet ic Interfaces.
- CORNEY N, COX P, NORGATE S, THROWER A. Sustainabl e geosystems in civil engineering applications. WRAP (Waste & Re sources Action Programme). Geosystems Report. 2010.
- CRUZ, P. L.; ÀVILA, L. V.; DINIS, M. A. P.; BAGGIO, D. K. Environmental, social and governance (ESG) and innovation in t

he construction sector: Systematic Literature Review. Brazilian Journal of Management. 2023

DAS GRAÇAS ROTH, C., & GARCÍAS, C. M. (2009). Construção civil e a degradação ambiental. Desenvolvimento em questão, 7(13), 111-128.

EN ISO 14040, 2006. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework (ISO 14040:2006).

FRASER, I., ELSING, A., STUCKI, M., BÜSSER, S., ITTEN, R., FRISCHKNECHT, R., & WALLBAUM, H. (2012). Comparative life cycle assessment of geosynthetics versus conventional construction materials, a study on behalf of the EAGM, Case 4, Soil retaining wall. In Proceedings Eurogeo (Vol. 5, pp. 218-222).

GURMEL S. GHATAORA, M. P. N. BURROW. Railway Foundations: RailFound 06 - Proceedings of the Conference. University of Birmingham, 2006

HUESKER Synthetic GmbH . Environmental Product Declaration as per ISO 14025 and EN 15804 +A1. FORTRAC T. Kiwa BCS Öko-Garantie GmbH - Ecobility Experts. Fortrac T. 2021

HUESKER Synthetic GmbH. Environmental Product Declaration as per ISO 14025 and EN 15804 +A1. STABILENKA. Kiwa BCS Öko-Garantie GmbH - Ecobility Experts. Fortrac T. 2021

ICE Dtabase. University of Bath & Carbon Trust, Inventory of Carbon & Energy (ICE). Document undertaken by the University of Bath's Department of Engineering, with support from the Carbon Trust and EPSRC. 2011

JOSA, I.; AGUADO, A. Infrastructures and society: from a literature review to a conceptual framework, Journal of Cleaner Production, Volume 238, 2019.

LEITE-GEMBUS, F., & TSESSELING, B. (2015). Polyester geogrids as asphalt reinforcement—a sustainable solution for pavement rehabilitation. In Proceedings of the 6th international conference bituminous mixtures and pavements.

MENDIZ, A. DE LOYOLA, F. Refuerzo de base en plataforma ferroviaria. Memorias del XXVI Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Comodoro Rivadavia 2023.

MENDIZ, A & RUIZ F (2021). Muro de suelo reforzado con geogrillas. XXV Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica - Misiones / Argentina.

ONU. 2019. Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 13 abr. 2023.

PISINI, S. K.; DARSHINI, S. P.; SHUKLA, S. K. Sustainability in Retaining Wall Construction with Geosynthetics. International Conference on Advances in Geotechnical Systems, 2018, Londres.

SILVA, A. E., & FORTEZA, A. L. (2009). Suelo reforzado aplicado a obras de estribos de puentes y viaductos. Séptimo Congreso de la Vialidad Uruguay, Montevideo Uruguay.

SCHMIDT, C. S.; DOS ANJOS, P. P. M. S.; STEINMEYER, I.; CLETO, M. C. R.; ANDRADE, E. M. Mechanically stabilized wall (MSW) with geogrids as complement of partially executed anchored wall. Soil. Rocks, São Paulo, 2023

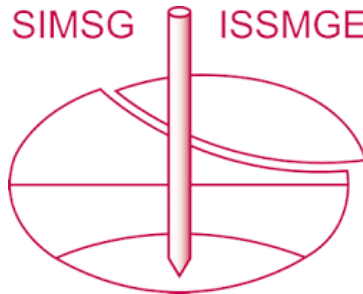
S F BROWN, N H THOM AND J KWAN Optimising the Geogrid Reinforcement of Rail Track Ballast. Railfound Conference, Birmingham.

STUCKI, M., BÜSSER, S., ITTEN, R., FRISCHKNECHT, R., & WALLBAUM, H. (2011). Comparative life cycle assessment of geosynthetics versus conventional construction materials. ESU-services Ltd. commissioned by European Association for Geosynthetic Manufacturers (EAGM), Uster and Zürich, CH.

VOTORANTIM CIMENTOS S.A. Environmental Product Declaration for Cement CP III 40 RS In accordance with ISO 14025 and EN 15804:2022+A2:2019. The International EPD® System.

WRAP Waste and Resource Action Plan. Sustainable Geosystems in Civil Engineering Applications. UK. 2010

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

The paper was published in the proceedings of the 17th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVII PCSMGE) and was edited by Gonzalo Montalva, Daniel Pollak, Claudio Roman and Luis Valenzuela. The conference was held from November 12th to November 16th 2024 in Chile.