



LIFE **CITYADAP3**

DIFERENTES ENFOQUES PARA PROBLEMAS COMUNES DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Directrices para municipios a partir de
los aprendizajes de LIFE CITYAdaP3

LIFE 19 CCA/ES/001209

Diferentes enfoques para los problemas comunes de adaptación (Tarea D1.1)

Mayo de 2023

Equipo editorial:

María Huertas. EuroVértice Consultores

José Pablo Delgado. EuroVértice Consultores

Marta Reguilón. EuroVértice Consultores

Colaboradores:

- Elvira Badenes. Municipio de Alcantarilla
- José Antonio Fernández. Municipio de Alcantarilla
- Luis Bernardeau. Municipio de Lorquí
- Carmen Mondéjar. Municipio de Molina de Segura
- Susanna Ferrari Bergomi. Municipio de Reggio Emilia
- Elisabetta Sgarbi — Departamento de Ciencias de la Vida — Universidad de Módena y Reggio Emilia
- Elisia Nardini. Municipio de Reggio Emilia

Este documento se ha elaborado con el apoyo financiero de la Unión Europea en el marco del programa LIFE. Los contenidos son responsabilidad exclusiva del proyecto LIFE CITYAdaP3 y en ningún caso pueden considerarse como reflejo de la posición de CINEA, ni CINEA se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en el mismo.

Contenidos

1. Introducción	3
Life CITYAdaP3.....	3
¿Qué encontrará en este documento?	3
2. Los peligros comunes	4
3. Evaluación de diferentes enfoques para mitigar los peligros comunes	5
i. Generación de sombras	5
ii. Renaturalización (especies vegetales)	11
iii. Renaturalización (Paisajismo)	14
iv. Permeabilidad del suelo	19
v. Estabilización de la tierra	22
4. Directrices para otros municipios	26

1. Introducción

Life CITYAdaP3

Según el último informe del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (Sexto Informe de Evaluación, 2023), el impacto del aumento de 1,1 grados centígrados de temperatura mundial ya es visible en todas las regiones del mundo. Los impactos climáticos del clima en las personas y los ecosistemas son más generalizados y severos de lo esperado, y los riesgos futuros aumentarán rápidamente con cada grado de calentamiento. Además, el informe afirma que las medidas de adaptación al cambio climático contribuyen eficazmente al aumento de la resiliencia, pero constata que se necesita más financiación para mejorar las soluciones.

LIFE CITYAdaP3 aborda este problema mediante la creación de mecanismos innovadores para financiar acciones de adaptación al cambio climático basadas en asociaciones público-privadas. El consorcio del proyecto está formado por los municipios de Alcantarilla, Lorquí y Molina de Segura, en España, y Reggio Emilia, en Italia, la Cátedra de RSC de la Universidad de Murcia y la empresa EuroVértice Consultores. Además, el proyecto está liderado por la Federación de Municipios de la Región de Murcia.

Los impactos climáticos se aceleran en áreas urbanizadas, rodeadas y repletas de infraestructuras, donde la temperatura, el viento y las precipitaciones muestran tendencias singulares. En el futuro, el crecimiento y la concentración de la población en las ciudades, así como el envejecimiento de la población, contribuirán a aumentar aún más la vulnerabilidad de los entornos urbanos al cambio climático.

Teniendo en cuenta que la adaptación de las ciudades es de máxima importancia, LIFE CITYAdaP3 se centra en el entorno urbano, y ha desarrollado un protocolo de acción para involucrar a las empresas en la colaboración con los municipios para la cofinanciación de medidas de adaptación al cambio climático urbano.

¿Qué encontrará en este documento?

Las ciudades y los sistemas urbanos son los lugares más responsables del cambio climático, pero al mismo tiempo, son los lugares donde más se sienten sus efectos. Los impactos del cambio climático en las ciudades están determinados principalmente por peligros comunes, como el aumento de las temperaturas y las olas de calor, las inundaciones, la escasez de agua y las sequías, y la disminución de la biodiversidad.

Life CITYAdaP3 comprende cuatro municipios, tres de la Región de Murcia (España) y uno de la Región de Emilia Romagna (Italia). A pesar de tener en común algunas características del clima mediterráneo, el sudeste de España y el norte de Italia se enfrentan a diferentes peligros y están experimentando los impactos del cambio climático de manera diferente. Incluso entre los municipios murcianos la situación es muy variada, ya que las características ambientales, sociales y económicas de cada zona influyen en cuáles son los principales riesgos climáticos y en cómo el cambio climático afecta a cada territorio.

El desarrollo del Plan de Acción por el Clima y la Energía Sostenible (PACES) o Estrategias Locales de Adaptación al Cambio Climático permite identificar cuál es la situación específica del lugar en relación con el cambio climático en cada municipio, y qué acciones deben

realizarse para mejorarlo. El proyecto Life CITYAdaP3 ha servido para implementar diferentes acciones piloto en los 4 municipios. Aunque las soluciones diseñadas han sido diferentes, hay muchas similitudes en el peligro que abordan y en la forma en que se han abordado, lo que permite hacer una comparación sobre las ventajas, desventajas y lecciones aprendidas de usar cada una.

Este documento comparará los diferentes enfoques seguidos por los municipios para resolver problemas comunes y espera poder proporcionar directrices para otros municipios que experimentan peligros climáticos similares. De esta manera, espera servir como un catálogo de soluciones útiles en la toma de decisiones.

2. Los peligros comunes

Aumento de las temperaturas y olas de calor
<p>Según la NASA, la temperatura promedio de la superficie de la Tierra ha aumentado alrededor de 1,18°C desde finales del siglo XIX, y es en las últimas décadas cuando ha ocurrido la mayor parte de este calentamiento¹. Además, múltiples estudios han encontrado que las olas de calor son cada vez más frecuentes, duraderas e intensas debido al cambio climático².</p> <p>Se espera un aumento de temperatura entre 2 y 4°C en la región mediterránea durante el siglo XXI. En consecuencia, las olas de calor aumentarán su duración hasta 15 o 20 días. El efecto Urban Heat Island (isla de calor) hace que la temperatura en las ciudades sea hasta 10°C más alta que en el entorno rural³. Los escenarios de cambio climático apuntan a un aumento en el número de mega olas de calor (en longitud, frecuencia o intensidad).</p>
Inundaciones
<p>La precipitación más frecuente e intensa está llevando a un mayor riesgo de inundaciones. El aumento observado de las inundaciones fluviales y los daños en Europa está bien documentado y es probable que sea uno de los efectos más graves del cambio climático en Europa en las próximas fechas⁴. Este aumento e intensidad de las precipitaciones es también consecuencia del proceso de urbanización de las ciudades (muerte de árboles, eliminación de suelos permeables, cambios en los lechos de los ríos, ocupación de lechos wadi...). Por lo tanto, es necesario analizar y mapear las zonas de inundación, establecer medidas preventivas para las zonas de mayor riesgo y no construir sobre ellas. Esto no evitará que ocurran sucesos, pero podría evitar daños mayores a las personas o a la infraestructura. Si no se toman medidas de mitigación y adaptación, las pérdidas</p>

¹ <https://climate.nasa.gov/evidence/>

² IPCC. (2018). *Calentamiento global de 1,5°C. Un informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5°C por encima de los niveles preindustriales y las vías mundiales de emisión de gases de efecto invernadero relacionadas, en el contexto del fortalecimiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático.*

Hansen, J., et al. (2012). *Percepción del cambio climático.* Actas de la Academia Nacional de Ciencias, 109(37), E2415-E2423.

Perkins-Kirkpatrick, S. E., et al. (2017). *Aumento de la frecuencia, la intensidad y la duración de las olas de calor globales observadas y los periodos cálidos.* Informes científicos, 7(1), 1-12.

³ Lorenzo Mentaschi, Grégory Duveiller, Grazia Zulian, Christina Corbane, Martino Pesaresi, Joachim Maes, Alessandro Stocchino, Luc Feyen. (2022). *El mapeo global a largo plazo de la temperatura de la superficie muestra una intensificación de los extremos de las islas de calor urbano dentro de la ciudad.* Cambio Ambiental Global. Volumen 72, 102441, ISSN 0959-3780, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102441>.

⁴ Comisión Europea, Dirección General de Medio Ambiente. (2021). *Impacto del cambio climático en las inundaciones — Resultados de la encuesta y posibles pasos a seguir para colmar la brecha de conocimiento y aplicación: finalizar un estudio basado en encuestas.* Oficina de Publicaciones

económicas aumentarán de 7.800 millones de euros al año en la actualidad a casi 50.000 millones €/año con un calentamiento global de 3°C para finales de este siglo.⁵ Además, el número actual de personas expuestas a inundaciones podría aumentar de 172.00 a 482.000 por año⁶.

Escasez de agua y sequías

Con un calentamiento global de 3°C, se prevé que la frecuencia de sequía se duplique en casi el 25 % del Mediterráneo y el 15 % de la región atlántica. Las sequías inducen una compleja red de impactos que abarcan muchos sectores de la economía. Con el calentamiento global, las sequías aumentarán en frecuencia e intensidad, y durarán más, en las partes meridional y occidental de Europa, mientras que las condiciones de sequía serán menos extremas en el norte y el noreste de Europa⁷. Al mismo tiempo que el calentamiento global trae consigo un aumento en la frecuencia y duración de las sequías, también trae lluvias con mayor fuerza y duración. Por lo tanto, es necesario establecer medidas de retención y almacenamiento de agua para satisfacer las necesidades de la demanda.

Disminución de la biodiversidad

La pérdida de biodiversidad es una de las mayores amenazas a las que se enfrenta la humanidad en la próxima década (Comisión Europea, 2020). El valor de la biodiversidad en las zonas urbanas a menudo se ha subestimado, pero estos espacios proporcionan hábitats importantes para múltiples especies, en particular para plantas, aves e insectos. Los ecosistemas urbanos albergan más de 25,000 especies en Europa, 179 de ellas objeto de la Directiva Hábitats. Un análisis de estos datos, desarrollado por el proyecto BiodiverseCities, ha demostrado que se observa un conjunto central de 130 especies en la mayoría de las áreas urbanas de Europa. Entre las 31 aves urbanas más comunes, cinco están clasificadas con una tendencia decreciente de la población y una está clasificada como «casi amenazada» por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN; Maes et al., 2021).

3. Evaluación de diferentes enfoques para mitigar los peligros comunes

i. Generación de sombras

La generación de sombras en las ciudades es una estrategia eficaz para mitigar el efecto térmico urbano, ya que ayuda a reducir las temperaturas ambientales y superficiales y a mejorar el confort térmico. El diseño y selección de soluciones para generar sombra se puede hacer incorporando elementos naturales o artificiales, y depende de las características y necesidades de la ubicación donde se necesitan.

Se han probado diferentes opciones como parte de los proyectos de acciones piloto de LIFE CITYADAP3.

⁵ Feyen, L., Ciscar, J.C., Gosling, S., Ibarreta, D. y Soria, A. (editores) (2020). *Impacto del cambio climático y adaptación en Europa*. Informe final del CCI PESETA IV. EUR 30180EN, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, ISBN 978-92-76-18123-1, doi:10.2760/171121, JRC119178.

⁶ Comisión Europea, Dirección General de Medio Ambiente. (2021). *Impacto del cambio climático en las inundaciones — Resultados de la encuesta y posibles pasos a seguir para colmar la brecha de conocimiento y aplicación: finalizar un estudio basado en encuestas*. Oficina de Publicaciones

⁷ Centro Común de Investigación. Comisión Europea. (2020). *Impactos del cambio climático en las sequías*. Proyecto Peseta IV del CCI.

- Generación de sombras a través de la plantación de vegetación.

La opción más recomendada para generar sombra es plantar árboles, ya que tiene otros múltiples beneficios asociados para la adaptación al cambio climático (mejora de la calidad del aire, aumento de la biodiversidad...). La ubicación estratégica de los árboles en las ciudades puede ayudar a enfriar el aire de 2 a 8 grados centígrados, reduciendo así el efecto isla de calor urbano⁸. Además, la colocación correcta de árboles alrededor de los edificios puede reducir la necesidad de aire acondicionado en un 30 % y reducir las facturas de calefacción de invierno entre un 20 y un 50 %⁹.

Cualquier elemento urbano capaz de generar sombreado es capaz de reflejar, difundir y absorber la radiación solar. Los estudios muestran que las hojas de los árboles, en general, son capaces de reflejar el 10 % de la energía visible y el 50 % de la energía solar infrarroja, mientras que pueden absorber el 80 % de la energía visible y el 20 % de la energía solar infrarroja. En consecuencia, la radiación resultante transmitida a través de sus hojas consistiría en el 10 % de la energía visible más el 30 % de la radiación solar infrarroja¹⁰. La magnitud de la atenuación solar varía según cada especie de árbol y sus características estructurales, tales como densidad de hojas, altura, diámetro de la copa y proximidad entre elementos. Desde el punto de vista del control de la radiación solar, los árboles más interesantes serían los árboles caducifolios. Las características geométricas de los árboles que influyen en su capacidad de sombreado son la altura total del árbol, la altura del tronco, el diámetro y la altura de la copa.

Teniendo en cuenta todos estos beneficios, la colocación de vegetación para la reducción de temperatura se ha incluido en la mayoría de las acciones piloto implementadas con LIFE CITYAdaP3.

En Alcantarilla, se han plantado árboles para generar sombra a lo largo del camino multimodal, en los lugares que lo permitieron. Se ha plantado en los lechos de flores diferente vegetación adaptada y nativa de la zona como parte fundamental de la plataforma multimodal. Esta vegetación ayuda a reducir el «efecto isla de calor» a través de la evaporación del agua, pero también actúa como purificador ambiental al eliminar los contaminantes existentes de la atmósfera. Dos especies de árboles han sido seleccionadas *Morus alba* y *Celtis australis*.

⁸ Doick, Kieron y Hutchings, Tony. (2013). Regulación de la temperatura del aire por árboles urbanos e infraestructura verde.

⁹ McPherson, Gregory & Simpson James R. (2003). Ahorro potencial de energía en edificios mediante un programa de plantación de árboles urbanos en California. Urbano para Urban Green 2: 073–086. 1618-8667/03/02/02-073 \$ 15.00/0

¹⁰ Kotzen, Benz (2003). Una investigación de sombra bajo seis especies arbóreas diferentes del desierto del Negev hacia su uso potencial para mejorar las condiciones microclimáticas en el desarrollo arquitectónico paisajístico. Journal of Arid Environments, Volumen 55, número 2, páginas 231-274, ISSN 0140-1963, [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00030-2](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00030-2).



Figura 1. Árboles plantados a lo largo del camino de Alcantarilla

En Molina de Segura, el estudio de la ruta urbana se ha llevado a cabo mediante la evaluación de las características físicas de las calles, midiendo una serie de parámetros que harán posible la plantación de árboles o la colocación de elementos vegetales que proporcionan sombra. Para elegir la especie a plantar, se realizó una selección de 10-15 especies de árboles autóctonos. Se ha considerado su capacidad de adaptación para adaptar las zonas urbanas al cambio climático y con vistas a mejorar el confort térmico de la población. Una altura reducida influye en su capacidad de sombreado, mientras que una altura excesiva en proporción al ancho de su copa, además de generar sombra no deseada en las fachadas de los edificios, conduce a dificultades para plantar en calles estrechas o de tamaño medio. Sin embargo, una altura excesiva (siempre que el ancho de la copa sea proporcional) no es un obstáculo para la provisión de especies en espacios abiertos.

En el Parque Nelson Mandela, los árboles también han sido revisados y renovados con el objetivo de crear sombras y ambientes húmedos. Para la nueva selección de especies, solo se consideraron especies nativas. Finalmente, se seleccionaron las siguientes especies: *Pinus halepensis*, *Pinus pinea*, *Ceratonia siliqua*, *Arbutus unedo*, *Quercus rotundifolia*, *Celtis australis*, *Laurus nobilis*, *Juglans regia*, *Tamarix boeana*, *Tamarix canariensis* y *Salix fragilis*.

Algunos parámetros valorados en la contribución a la generación de sombra son la densidad de los árboles, sus dimensiones y el tamaño de proyección del dosel arbóreo. En una medida u otra, esto afecta la reducción de temperatura y la absorción de CO₂.

Las condiciones básicas para una siembra efectiva de árboles en la ciudad también se basan en el período de descanso vegetativo de la especie, ya que puede variar según la climatología de cada área y sus variaciones anuales. Además, los árboles deben estar sanos, sin síntomas de plagas y deben estar bien formados y endurecidos. La parte aérea debe tener un guía terminal y el número de ramas a la cruz no debe ser superior a cinco ni inferior a tres. El tronco debe ser único y recto, y la cruz debe comenzar al menos a 2,5 m del cuello. La bola de raíz de la planta estará hecha de suelo sólido y al menos tres veces el diámetro del tronco. El sustrato de plantación se utilizará para garantizar las condiciones necesarias para el desarrollo del árbol.

En Reggio Emilia, la necesidad de sombra fue uno de los criterios a tener en cuenta en la selección de los espacios en los que actuar. Los cuatro parques seleccionados para la reforestación se vieron particularmente afectados por el efecto isla de calor o la sombra necesaria, debido a su uso por la población, especialmente en los puntos donde se concentran las estructuras públicas relacionadas con el ocio.

En particular, el proyecto previsto para el uso de árboles está en torno a las zonas de juego de los niños y las hileras de árboles a lo largo de senderos ciclistas de peatones con el objetivo de garantizar el sombreado de estas zonas. Estos suelen estar muy expuestos a la radiación solar directa y, por lo tanto, son difíciles de usar por los ciudadanos en el verano. Con el objetivo de crear sombras en el menor tiempo posible, se han plantado árboles más grandes y a una distancia menor entre sí, en comparación con lo que se hizo en otras intervenciones de reforestación.

El proyecto de Reggio Emilia no se limitó a la selección de especies potencialmente más resistentes adecuadas para proporcionar sombreado y aumentar la evapotranspiración del suelo, sino también en asociaciones de plantas que pueden ser más resistentes a las condiciones ambientales futuras (escasez de agua, eventos extremos...). La plantación de nuevos árboles en nuevas hileras, pero también en microbosques y setos rurales, trae beneficios en términos de calidad del aire, el agua y el suelo a través del mecanismo de evapotranspiración y sombreado, lo que contribuye a reducir las temperaturas del aire/suelo.

Las especies vegetales que han sido elegidas para las hileras de árboles deben ser capaces de soportar mejor el aumento de las temperaturas, que se producen en todas las estaciones: las intensas y prolongadas olas de calor estivales y la frecuencia cada vez mayor de veranos e inviernos secos. Se prestó especial atención a la forma de las hojas y las copas, con el fin de garantizar un efecto significativo en términos de adaptación. En este sentido, se eligieron varias especies vegetales nativas y mediterráneas, poco exigentes y potencialmente bien adaptables al entorno urbano.

- Generación de sombras a través de estructuras artificiales

En Alcantarilla, en los lugares donde la colocación de vegetación para la generación de sombras resultó imposible o no suficiente, se ha buscado sombreado natural alternativo por medio de la proximidad de la plataforma multimodal a construcciones adyacentes.

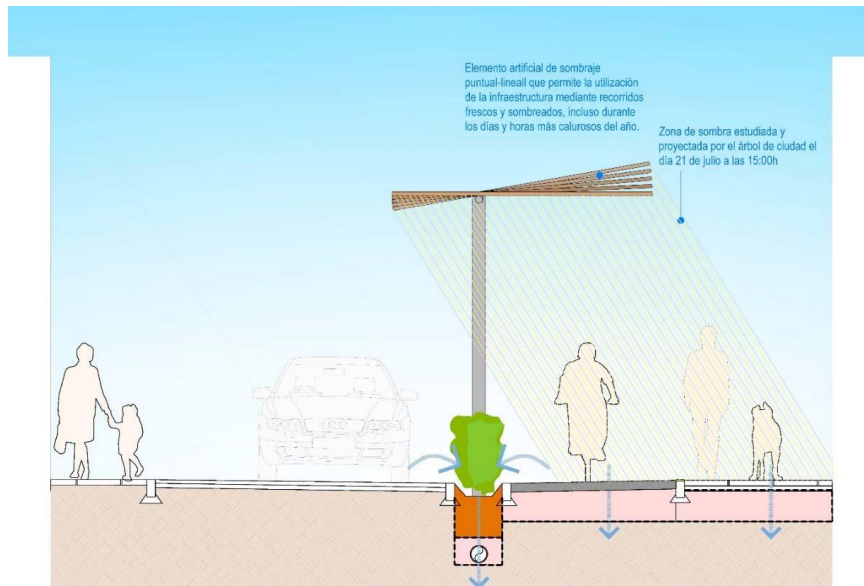


Figura2. Infografía del diseño de las estructuras de sombra colocadas en Alcantarilla.

Para áreas abiertas o cuando la sombra de los edificios no era suficiente, se ha diseñado un «árbol urbano». Este es un elemento de luz de madera, fácil de instalar, modular y adaptable a diferentes orientaciones y situaciones, al que se pueden unir diferentes elementos en función de las necesidades, como la iluminación solar.

La combinación de vegetación, sombra proyectada por edificios y árboles de la ciudad ha transformado la ruta en una zona más fresca para peatones y ciclistas. Incluso durante las horas centrales del día, el porcentaje de la superficie sombreada de la ruta supera el 70 %.

Un aspecto positivo de esta opción es que permite una combinación de la estructura artificial con la vegetación, incluyendo especies de plantas trepadoras. Esto mejora el rendimiento del elemento como una medida para combatir el efecto isla de calor urbano.



Figura3. «Árboles urbanos» estructuras de madera acompañadas de macetas con plantas trepadoras, maximizando su capacidad para producir sombra.

En Lorquí se han instalado estructuras similares, ya que los lugares donde se desarrollaron las acciones piloto no permitieron plantar árboles. Además, con el fin de aumentar el área de sombreado, en algunos casos se colocó un fino brezo en la parte superior de la estructura. Se trata de un material sostenible y económico, adaptable a las curvas de la estructura, que permite el paso de la luz y sirve de forma temporal hasta que las plantas trepadoras crezcan.



Figura4. Estructuras de sombra colocadas en Lorquí.

ii. Renaturalización (especies vegetales)

La importancia de renaturalizar las ciudades es universalmente reconocida por múltiples razones.

Por un lado, y hablando de los beneficios ambientales, la ecologización urbana tiene un impacto positivo en la conservación de la biodiversidad, la calidad del aire y la mitigación y adaptación al cambio climático. Las zonas urbanas tienden a reducir la biodiversidad debido a la pérdida y fragmentación del hábitat. La introducción y mejora de los elementos naturales dentro del entorno urbano mejora la conectividad ecológica y crea hábitats de vida silvestre urbana. Además, la vegetación en las ciudades ayuda a reducir la contaminación del aire mediante la captura de partículas, la absorción de contaminantes y la producción de oxígeno, lo que contribuye a mejorar la salud pública. Además, los espacios verdes urbanos desempeñan un papel en la mitigación (secuestrar el dióxido de carbono a través de la fotosíntesis) y la adaptación (reducción del riesgo de inundación y la temperatura) al cambio climático¹¹.

Por otro lado, la renaturalización de las ciudades mejora el bienestar de los ciudadanos, mejora la calidad de vida y mejora el confort térmico de los habitantes urbanos. Además, se ha demostrado que la proximidad a espacios verdes y elementos naturales aumenta el valor de la propiedad y atrae a las empresas, promoviendo el desarrollo económico. Además, puede conducir a un ahorro de costos en el consumo de energía, la gestión de aguas pluviales y la atención médica¹².

Sin embargo, existe un debate abierto entre el uso de especies autóctonas y exóticas en áreas urbanas. Los siguientes son algunos de los argumentos más comunes presentados por ambas partes¹³¹⁴¹⁵.

Desde la perspectiva biológica y ecológica, los defensores del uso de especies nativas argumentan que son esenciales para preservar y mejorar la biodiversidad local. Las plantas nativas han evolucionado conjuntamente con la vida silvestre local, proporcionando hábitat, fuentes de alimentos e interacciones ecológicas que apoyan la salud general de los ecosistemas. Las especies exóticas pueden actuar como depredadores de la fauna nativa, alterar el hábitat (modificando física y químicamente el suelo), competir por la comida y el

¹¹ Comisión Europea. (2022). *Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a la restauración de la naturaleza*

¹² Gómez Lopera, F. (2005). *Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades. Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 37(144), 417–436.

¹³ Marinšek, Aleksander; Bindewald, Anja; Kraxner, Florian; La Porta, Nicola; Meisel, Petra; Stojnic, Srdjan; Cocozza, Claudia; Lapin, Katharina (2022). *Manual para especies de árboles no nativos en el espacio urbano* SN — 978-3-903258-56-3

¹⁴ Martin A. Schlaepfer, Benjamin P. Guinaudeau, Pascal Martin, Nicolas Wyler (2020). *Cuantificar las contribuciones de árboles nativos y no nativos a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de una ciudad*. *Silvicultura urbana y ecologización urbana*, Tomo 56, 126861, ISSN 1618-8667, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126861>.

¹⁵ Castro-Díez, P., Vaz, A.S., Silva, J.S., van Loo, M., Alonso, Á., Aponte, C., Bayón, Á., Bellingham, P.J., Chiuffo, M.C., DiManno, N., Julian, K., Kandert, S., La Porta, N., Marchante, H., Maule, H.G., Mayfield, M.M., Metcalfe, D., Monteverdi, M.C., Núñez, M.A., Ostertag, R., Parker, I.M., Peltzer, D.A., Potgieter, L.J., Raymundo, M., Rayome, D., Reisman-Berman, O., Richardson, D.M., Roos, R.E., Saldaña, A., Shackleton, R.T., Torres, A., Trudgen, M., Urban, J., Vicente, J.R., Vilà, M., Ylioja, T., Zenni, R.D. y Godoy, O. (2019), *Efectos globales de especies arbóreas no nativas en múltiples servicios ecosistémicos*. *Biol Rev*, 94: 1477-1501. <https://doi.org/10.1111/brv.12511>

espacio, hibridar con especies nativas, introducir nuevos parásitos y enfermedades... Por otro lado, los críticos del uso de especies exclusivamente nativas argumentan que las áreas urbanas ya son ambientes altamente modificados y que, introducir una mezcla de especies exóticas nativas y no invasivas puede aumentar la diversidad de plantas y crear ecosistemas urbanos más resilientes y funcionales.

Esto es especialmente importante teniendo en cuenta los escenarios de cambio climático, que predicen un cambio en los múltiples factores meteorológicos que afectarán a las plantas y a los animales. Los defensores de las especies nativas enfatizan su capacidad de adaptación a las condiciones ambientales locales, como el clima, el suelo y la hidrología. Argumentan que las especies nativas son más propensas a prosperar en entornos urbanos sin la necesidad de un mantenimiento excesivo, riego o insumos químicos. Argumentan que estas especies pueden ayudar a las áreas urbanas verdes más rápidamente y resistir condiciones difíciles.

Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de decidir qué especies plantar en zonas urbanas es el valor estético que aportan. Sin embargo, la estética es subjetiva para la población. Mientras que algunos creen que las especies nativas contribuyen al sentido del lugar, preservan las tradiciones locales y realzan el valor cultural de los paisajes urbanos, otros piensan que las especies exóticas pueden introducir nuevos colores, formas y texturas en entornos urbanos, creando paisajes visualmente atractivos.

Un factor muy importante a tener en cuenta es el potencial invasivo que puede tener la introducción de especies exóticas. Las especies no nativas pueden escapar del cultivo, superar a las plantas nativas y alterar los ecosistemas locales, lo que lleva a la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Sin embargo, es cierto que solo algunas plantas no nativas son invasivas. Es imposible saber si una especie exótica puede convertirse en una especie invasora. Las variaciones en el clima pueden hacer que las especies exóticas encuentren las condiciones óptimas para la expansión, alejándose del control humano y teniendo efectos devastadores en los ecosistemas naturales. Una cuidadosa selección y gestión podría evitar sus impactos negativos, pero el riesgo nunca desaparece.

A menudo se sugiere encontrar un punto medio entre el uso de especies nativas y exóticas. Al igual que con cada intervención urbana, se necesita un enfoque específico del contexto, teniendo en cuenta el objetivo ecológico, las condiciones locales y los posibles impactos en la biodiversidad. Este enfoque puede implicar la priorización de especies nativas para la restauración ecológica y las zonas sensibles, mientras que el uso de especies exóticas no invasivas se utiliza para mejorar el valor estético y la resiliencia en los paisajes urbanos. El equilibrio entre especies nativas y exóticas puede variar dependiendo de las circunstancias locales y los objetivos específicos de las iniciativas de ecologización urbana.

Las acciones piloto en Lorquí, Alcantarilla y Molina de Segura han incluido solo especies nativas. En Reggio Emilia, parte de la innovación del proyecto reside en el ensayo de diferentes combinaciones de especies vegetales nativas y no nativas, pero prestando gran atención a excluir especies potencialmente invasoras y no nativas.

Uno de los dispositivos incluidos en la reforestación de los parques ha sido el «microbosque». Esta idea parte de la asunción del llamado «método Miyawaki», que implica plantar densamente diferentes especies de plantas en un área pequeña, creando una estructura

forestal de múltiples capas que imita los bosques naturales (véase el párrafo siguiente). Esta técnica pretende ser autosostenible y enfatiza el uso de diferentes especies vegetales y prácticas orgánicas para promover la biodiversidad, mejorar la calidad del suelo, conservar los recursos hídricos y proporcionar beneficios ecológicos.

Se han probado tres tipos de microbosques como parte del proyecto que difieren en la combinación de especies de plantas:

- El «microbosque nativo» se compone únicamente de especies nativas, características de los bosques de la llanura de Po — la zona geográfica de referencia; estas especies están generalmente bien adaptadas tanto a las condiciones del suelo como a las condiciones climáticas de la zona geográfica de referencia, son poco exigentes y son capaces de propagarse fácilmente en las zonas circundantes.
- El «microbosque adaptativo», con la inclusión de nuevas especies, principalmente del área mediterránea (considerada adecuada para futuras condiciones climáticas — adaptativas) que crecen en matorrales o prados secos, generalmente resisten veranos largos, calurosos y secos, con el fin de evaluar la posible adaptación a los cambios climáticos.
- El «microbosque comestible», en el que se plantan muchas plantas frutales, para complementar el sistema forestal; aquí, también hay muchas especies herbáceas que, especialmente en la primera fase del crecimiento de los bosques alimentarios, serán fundamentales para asegurar la correcta formación de un sustrato rico en componentes orgánicos.

Por lo tanto, la naturaleza misma de la intervención implica la inclusión de especies autóctonas y alóctonas.

En particular, en la elección de las especies que componen el «microbosque adaptativo», una amplia selección de especies mediterráneas, pero no pertenecientes a la lista de especies invasoras, se ha colocado con especies nativas, con el fin de evaluar la posible adaptación a las condiciones climáticas típicas del territorio. La selección de la especie se ha llevado a cabo teniendo en cuenta especies ya presentes en el territorio que han mostrado interesantes adaptaciones evolutivas en contextos similares. Se han tenido en cuenta criterios como la tasa de crecimiento (aspecto importante para el secuestro de carbono), el desarrollo del sistema radicular (especialmente importante para las intervenciones cercanas a estructuras antropogénicas), la persistencia de hojas (deciduas), una característica de especial interés en relación con la mitigación de la contaminación atmosférica y acústica, la resistencia a los contaminantes (especialmente en zonas estrictamente urbanas) y la longevidad.

Para seleccionar las especies que se incluirán en el Bosque Alimentario (bosque comestible), se definió un sistema cultivado inspirado en el bosque. Para la elección de la especie, se han utilizado plantas capaces de proporcionar madera, enriquecimiento del suelo y, más generalmente, estructura de los elementos paisajísticos. Se han plantado otras plantas de tamaño mediano, entre ellas una amplia gama de plantas frutales (ciruelas, albaricoques, cítricos, higos, granadas), que tienen un desarrollo limitado pero son capaces de proporcionar frutos comestibles. También se han utilizado plantas tupidas, que tienen un tallo leñoso pero siguen siendo pequeñas en tamaño: son plantas aromáticas, es decir, romero, salvia, lavanda,

pero también frambuesas, grosellas, arándanos, moras. Diferentes especies herbáceas completan la composición del bosque comestible, que, especialmente en la primera fase de la realización forestal, puede desempeñar un papel esencial asegurando la correcta formación de prados estables.

Para la constitución de este tipo de microbosques, se utilizaron proporciones de plantación predeterminadas que suponen, en particular: 45 % uso de vegetación arbórea dominante, 32 % uso de vegetación arbórea dominada y 23 % uso de vegetación arbustiva.

iii. Renaturalización (Paisajismo)

Como se ha comentado anteriormente, el proyecto Reggio Emilia (Parques adaptativos) ha tratado de ir más allá de las medidas tradicionales de reforestación como adaptación al cambio climático. El enfoque se ha desplazado hacia la importancia de introducir asociaciones de plantas que puedan establecer un equilibrio resistente a las condiciones climáticas futuras (escasez de agua, eventos extremos...), de acuerdo con las características de las áreas habitadas.

El concepto que subyace a los parques adaptativos de Reggio Emilia se basa en la idea de probar la eficacia de cuatro principales «dispositivos» paisajísticos y ambientales para contrarrestar los efectos del cambio climático:

- microbosques;
- los setos rurales;
- prados polifiléticos;
- filas de árboles.

Su composición y articulación dentro de cada proyecto individual se diseña de acuerdo con los objetivos generales establecidos para la acción de adaptación y, al mismo tiempo, abordan las cuestiones del uso y mantenimiento de los espacios verdes.

La definición de los dispositivos toma como referencia algunas metodologías estudiadas durante algún tiempo en el campo científico y validadas por una serie de experiencias concretas. Se han implementado (o se están implementando) en Europa y en el mundo en diferentes contextos climáticos y ambientales (incluidos los proyectos conocidos como Afforestt, Boomforest, Urban-forest, Forestcreators y otros).

El componente de innovación se refiere principalmente a la experimentación en Reggio Emilia de asociaciones de plantas alternativas para probar y supervisar su resiliencia al cambio climático y el impacto en indicadores capaces de contrastar islas de calor en las ciudades (mediante sombreado, regeneración del suelo y aumento de la evapotranspiración).

Micro foreste sperimentali



Siepi campestri



Prato stabile polifita



Filari



Cityadp3 - Reggio Emilia

LEAA - Luca Emanuelli, Gianni Lobosco, Barbara Stefani

Figura5. Ficha resumida de los dispositivos paisajísticos-ambientales propuestos por el proyecto. (Algunas de las fotos utilizadas en la imagen se toman de las siguientes fuentes: www.afforestt.com, ♦, ♦, ♦)

Otro elemento característico de las intervenciones propuestas en Reggio Emilia es el proyecto para crear una zona de humedales en el «Parque Biagi». Aprovecha la posibilidad de derivar agua de un canal cercano durante la temporada de verano, con el objetivo de llevar a cabo una acción atenuante adicional sobre el microclima de la zona. Esta acción está en consonancia con las recomendaciones europeas, nacionales y regionales para evaluar la contribución potencial de los humedales en la lucha contra las islas de calor.

Las especies elegidas para ser plantadas en esta zona incluyen especies acuáticas más adecuadas, plantas de humedales periódicamente sumergidas y también especies de pastizales, con el objetivo de establecer a lo largo de los años un prado estable cerca del humedal. Este proyecto debe considerarse experimental, ya que será muy interesante observar cómo las diferentes especies introducidas podrán adaptarse, hacer frente a las fluctuaciones del nivel del agua y a las condiciones ambientales del sitio de introducción.

El proyecto piloto completo se puede solicitar a través de la página web al equipo LIFE CITYADAP3, pero este documento incluye un breve resumen de sus principales características.

Los cuatro «dispositivos» de paisajismo diferentes son:

- Microbosques

El rasgo común de los microbosques recuerda los conceptos fundamentales del modelo de referencia de Miyawaki, que puede resumirse de la siguiente manera: en la muy alta densidad de plantación (al menos 3 plantas jóvenes por metro cuadrado) en parcelas no superiores a 200 metros cuadrados, en la diferenciación extrema de la especie (al menos

30) y de los niveles de planta que conformarán el bosque (4), así como en la ausencia casi total prevista de mantenimiento (de poda, maleza, sistemas de riego, etc.).

Este método ya ha demostrado su eficacia en diversos contextos (también que tienden a ser áridos, como Cerdeña) donde se ha encontrado una tasa de crecimiento de plantas jóvenes diez veces más intensa que las técnicas de forestación habituales derivadas de modelos de cultivo único. Dentro de 2 años, el microbosque se estabiliza en una estructura casi impenetrable capaz de autosostener su propia evolución y defenderse de patógenos externos sin ninguna intervención humana.

Las ventajas relacionadas con esta práctica, especialmente en el área urbana y en vista de la optimización de la gestión pública ecológica, son, por lo tanto, potencialmente considerables tanto en términos económicos (plantación de plantas jóvenes y de bajo costo; reducción de los costes de gestión) y en relación con las expectativas de «efecto inmediato» que a menudo se buscan en este tipo de intervenciones. Junto con estas consideraciones de carácter más pragmático, deben enfatizarse los efectos extremadamente positivos sobre los indicadores ambientales y ecológicos relacionados con la biodiversidad y la salud de los suelos que subyacen a este tipo de intervención.

Algunos experimentos, incluido el realizado por la prestigiosa Universidad de Wageningen en Zaanstadt, en los Países Bajos, ya han verificado estos impactos en el medio ambiente urbano comparando diferentes tipos de microbosques con diferentes combinaciones de especies. En este proceso experimental también han demostrado un mayor potencial del «método», es decir, la posibilidad de involucrar a los ciudadanos en las fases de plantación y seguimiento y cuidado de los nuevos bosques.

- Setos rurales

Los setos siempre han desempeñado diversas funciones, especialmente en campos agrícolas que pueden ser útiles en áreas urbanas: señalar el límite entre las diferentes propiedades, proteger contra el ruido, el viento o la contaminación, contener la erosión y consolidar el suelo, proporcionar fruta a la población, proporcionar alimento y posible refugio para la avifauna local y representar un lugar para la conservación de la fauna del insecto.

Los setos rurales se conciben como una estructura vegetal «multiespecífica», que se compone de un gran número de especies, generalmente con una fuerte prevalencia de arbustos, pero con la presencia simultánea de plantas leñosas y herbáceas. La particular conformación de su follaje y las características morfoestructurales de las diferentes especies que las componen tienen un efecto directo sobre el sombreado producido, sobre su efecto como rompevientos, la absorción de partículas contaminantes, la consolidación del suelo, la limitación de la superficie de erosión y la dispersión de la fertilidad del suelo.

La complejidad del seto, con la presencia de árboles, arbustos y capas herbáceas, permite que el elemento paisajístico acomode diferentes nichos ecológicos.

- Prado polifilético

El prado polifilético es esencialmente una combinación de varias especies de hierba y cultivos forrajeros que crecen en la misma tierra. Estos tipos de prados no han sufrido en el tiempo de labranza y se mantienen a través de la siega periódica. Se caracterizan por una buena riqueza florística. Los prados de Polyphyte se pueden cultivar tanto en condiciones secas como a través de la gestión del riego.

Como parte de este proyecto, que opera en gran parte en las zonas fronterizas entre lo urbano y el campo, la introducción de la pradera polifilética asume no solo un valor ambiental y ecológico (con un aumento significativo de la biodiversidad), sino también un significado cultural: concienciar sobre las buenas prácticas de cultivo de los ancianos y desempeñar un papel educativo para los ciudadanos y las generaciones jóvenes.

- Hileras de árboles

Se puede definir como una fila lineal y, generalmente, regular de plantas leñosas plantadas por humanos, que generalmente consiste en árboles altos, dispuestos en filas individuales o paralelas.

La formación de hileras se utiliza principalmente con el objetivo de asegurar el sombreado en carreteras y caminos expuestos a la luz solar intensa, aunque tiene otros beneficios múltiples. Las áreas de interés son las ubicadas principalmente en los puntos utilizados por los ciudadanos para la recreación y el juego y los caminos ciclistas de peatones.

La presencia de árboles es capaz de mejorar significativamente el microclima de la zona afectada, permitiendo una caída de temperatura en la temporada de verano en algunos grados. Las hileras de árboles, sin embargo, también tienen un efecto contrario a los contaminantes, absorbiendo gases y reteniendo partículas y metales pesados.

Las especies de árboles se han elegido, en la medida de lo posible, entre aquellos capaces de soportar mejor el aumento de las temperaturas, las intensas y prolongadas olas de calor estival, y la frecuencia creciente de los períodos secos de verano e invierno. Se prestó especial atención a la forma de las hojas y las copas, con el fin de garantizar un efecto significativo en términos adaptativos. El objetivo es crear áreas sombreadas en los espacios más utilizados para el paso peatonal/ciclista y áreas de juego. Se eligieron varias especies nativas, poco exigentes y potencialmente bien adaptables al entorno urbano.

Esta opción es ampliamente utilizada para el sombreado de caminos y ciclovías, y también ha sido elegida en el caso de Alcantarilla.

En el caso de Molina de Segura, el Parque Nelson Mandela ha sido reforestado sin tener en cuenta ninguno de estos «dispositivos». Los técnicos municipales y la empresa adjudicadora han realizado un diseño específico de reforestación teniendo en cuenta las características del parque, las necesidades de población y medio ambiente y los requisitos de la especie. Se han incorporado especies de diferentes tamaños y características morfológicas, fisiológicas y estéticas, con el objetivo de generar un diseño lo más similar posible al ecosistema natural de la zona.

Se han seguido dos criterios principales:

- En el área de los macizos de flores que bordean caminos y carreteras, se ha seguido una plantación lineal de árboles y arbustos, para proporcionar sombra al caminante y una estética visual cercana.
- En el interior de los macizos de flores se ha elegido una distribución aleatoria en zig-zag, lo que le da más naturalidad a esta zona verde. La elección de las especies se ha centrado en la creación de diferentes formaciones ecológicas: pinar, arbutus, tamarisco, algarroba, nogal, arbutus, mastica...

En la fase de plantación del proyecto Parque Nelson Mandela, la estructura vegetal se definió en una fase de dibujo conceptual, sin especificar la especie, lo que permitió reconocer y recrear la disposición del espacio, permaneciendo fiel a los factores ambientales preexistentes, sin imponer las necesidades de la planta a las del emplazamiento. Una vez definida y revisada la estructura, se definieron las especies específicas para cada macizo de flores. Los criterios seguidos en esta planificación fueron:

- Criterios estéticos. La plantación en la zona verde del Parque Nelson Mandela cumple una función ornamental, para lo cual se ha establecido una armonía entre la especie, basada en el cromatismo de las hojas y su textura. Se ha intentado crear armonía entre diferentes especies de acuerdo con su ubicación en niveles bioclimáticos.
- Criterios ecológicos: se eligieron especies nativas de la Región de Murcia, muchas de las cuales se encuentran en espacios naturales cercanos al parque. Esto tiene un efecto positivo al favorecer la fauna asociada a este hábitat, así como su capacidad para moverse y colonizar nuevos espacios. El objetivo es crear masas de vegetación que formen un solo hábitat para apoyar a una importante comunidad de vida silvestre.
- Criterios de sostenibilidad. Hay muchas buenas razones para plantar árboles, arbustos y plantas herbáceas en nuestras ciudades: mejoras estéticas, sociales, de confort, etc. Se buscó un bajo costo energético del mantenimiento de la jardinería, dado que esta energía se genera en gran medida a partir de combustibles fósiles y tiene un impacto en los gases de efecto invernadero y los contaminantes atmosféricos urbanos. Además, se plantaron especies de bajo consumo de agua. Se diseñó la agrupación intencional de plantas con necesidades de agua similares, ya que esto ahorra una gran cantidad de agua a finales de año. Además, se consideraron los efectos microclimáticos de las plantaciones. Su efecto es local, pero pueden tener un poderoso impacto en la comodidad térmica del usuario del espacio público o edificios cercanos, o incluso en vehículos estacionados, lo que puede reducir sus niveles de consumo de energía.
- Criterios de gestión. La redacción de un proyecto de plantación en una zona verde incluirá una evaluación de los costes de trabajo y mantenimiento, con el objetivo de aclarar la idoneidad de las especies elegidas y su distribución.

Por lo tanto, hay muchos elementos y características a tener en cuenta y, como en el resto de las soluciones, la elección de la medida ideal depende de evaluar múltiples variables específicas para cada caso.

iv. Permeabilidad del suelo

La permeabilidad del suelo desempeña un papel crucial en la gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos. Cuando la lluvia ocurre en superficies impermeables, como carreteras y edificios, conduce a una rápida escorrentía. Esta escorrentía puede abrumar la infraestructura de aguas pluviales, causar inundaciones localizadas y conducir a un aumento de la contaminación, ya que transporta contaminantes a los cuerpos de agua. Los suelos permeables facilitan la infiltración natural del agua, reduciendo significativamente los riesgos de inundación urbana¹⁶.

Existen diferentes formas de mejorar la permeabilidad del suelo en las zonas urbanas: sustitución de pavimentos impermeables convencionales por alternativas permeables (vegetadas o no), mejorando la cobertura arbórea e implementando sistemas de drenaje sostenibles. Además, todas las acciones que implican plantar árboles mejoran la permeabilidad del suelo a través del crecimiento de las raíces y la aireación del suelo. Las raíces de los árboles crean canales y mejoran la estructura del suelo, permitiendo que el agua se infiltre más fácilmente y evitando la compactación del suelo.

En Alcantarilla, una de las acciones más importantes llevadas a cabo ha sido el uso de pavimentos permeables para la construcción de la plataforma multimodal, de modo que el agua de lluvia pueda pasar a través de ellos y percolar al suelo natural subyacente. Se propusieron losas de hormigón permeable y hormigón poroso. Para obtener más información sobre las especificaciones técnicas de los materiales, los proyectos técnicos de la acción piloto pueden consultarse en la [página web de LIFE CITYADAP3](#).

La pasarela peatonal ha sido hecha de un pavimento modular de hormigón con una alta capacidad de drenaje. El material está hecho de hormigón de alta resistencia con agregados silíceos, graníticos o basálticos, utilizando hasta un 20 % de material reciclado. Gracias a la luz solar y debido a su tratamiento superficial, el pavimento también es capaz de eliminar contaminantes a través de un proceso de oxidación activado por la energía del sol. La pavimentación fue colocada en un grueso lecho de grava drenante sobre una hoja geotextil, para la filtración natural del agua en el suelo. Este sistema tiene las características de permeabilidad y capacidad para laminar y purificar en mayor medida el agua de escorrentía urbana. Además, el pavimento es antideslizante, descontaminante y hecho de material reciclado.

La plataforma ciclable ha sido ejecutada por una pavimentación continua de hormigón poroso para exteriores. Este incorpora también incorpora agregado fotoluminiscente verde, con un tiempo de atenuación de 6-8 horas en condiciones de oscuridad total. Esta plataforma también fue construida para tener una pendiente del 2 % hacia los macizos de flores para que cualquier agua superficial que pueda acumularse y no se filtre a través del material, sea transportada a los lechos de flores inundables, logrando una filtración natural de esta agua en el suelo. El excedente que el terreno no es capaz de absorber se recoge mediante un sistema de drenaje

¹⁶ Johnson, A., Smith, B., Davis, C., & Thompson, R. (2022). Explorando el impacto de la permeabilidad del suelo en la gestión urbana de aguas pluviales. *Ciencia y tecnología del medio ambiente*, 56(3), 1234-1242. doi: <https://doi.org/10.3390/w13010004>

de PVC. El exceso de agua se lleva a los jardines inundables cercanos, evitando charcos e inundaciones en caso de lluvias torrenciales.

Se han colocado macizos de flores adyacentes a la plataforma peatonal-ciclista, separando el tráfico vehicular de la zona peatonal y recolectando escorrentía. En calles con espacio reducido, se han ubicado en el lugar de la franja de estacionamiento existente en esa zona. Consisten en una capa de 100 cm de capa superficial, que sirve como base para la siembra de árboles de sombra y vegetación de arbustos, sobre una capa de material filtrante granular seleccionado. Allí, se ha colocado una tubería de drenaje de hormigón para capturar el exceso de agua que el suelo no puede filtrar, evacuando estos excedentes a los jardines de inundación colocados en plazas y jardines. En los casos en que el ancho de la calle no permitía respetar las dimensiones mínimas de ancho, solo se plantaba vegetación arbustiva, ya que requieren menos espacio para su ciclo de vida.

La situación en Lorquí es muy particular y sirve para demostrar la importancia de un buen análisis previo antes de implementar una acción de obra civil sobre el terreno. Es necesario indicar que el centro de la ciudad está construido sobre «cabezos» (pequeñas colinas), que se componen esencialmente de suelo margoso, cuya alteración puede causar fuertes fenómenos de intemperie y expansividad hidroeléctrica.

La inestabilidad de este terreno hace necesario evaluar cuidadosamente los materiales a utilizar, teniendo en cuenta tres factores: permeabilidad, flexibilidad (adaptación a los movimientos del suelo) y la carga que colocan en el suelo. Por lo tanto, en la parte superior de los «cabezos», los materiales deben ser ligeros, flexibles y con baja permeabilidad, para que puedan soportar los movimientos del suelo y no permitir el paso del agua, haciéndola aún más inestable.

Los pavimentos de hormigón se caracterizan por ser muy rígidos y responden mal a los movimientos diferenciales del suelo que provocan grietas. Esto, junto con la alta carga que transmiten al suelo y la escorrentía superficial del agua, provoca inestabilidades y alteraciones en el suelo de los taludes. Por lo tanto, se propuso utilizar materiales que, con una carga reducida, puedan ser capaces de impermeabilizar la zona para garantizar que el agua no se percola y produzca alteraciones en el suelo. Como solución, se seleccionaron pavimentos bituminosos con menor tamaño agregado y bajo espesor. Las mezclas asfálticas calientes para capas de rodadura se componen de una combinación de un aglutinante de hidrocarburos, agregados con una discontinuidad de tamaño de grano muy acentuada en la arena, polvo mineral y, posiblemente, aditivos, de modo que todas las partículas del agregado están cubiertas por una película homogénea de aglutinante, lo que lo hace altamente impermeable.

Además, a lo largo de las colinas, había varios canales de superficie de hormigón armado que estaban en malas condiciones debido a la inestabilidad del suelo. El problema radica en el hecho de que son estructuras continuas y rígidas, lo que significa que los pequeños movimientos causan grietas que conducen a fugas y pérdida de agua, con repercusiones para el medio ambiente. La propuesta para resolver este problema consistió en la instalación de elementos de drenaje longitudinal de lengüeta y surco, como canaletas y tuberías descendentes. Estos se organizan mediante acoplamientos y solapamientos, lo que significa

que responden a los movimientos del suelo de forma independiente y, por lo tanto, no sufren roturas que reducen su funcionalidad.

Los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) son técnicas de gestión de aguas pluviales y planificación urbana que tienen como objetivo imitar los procesos hidrológicos naturales en el desarrollo urbano mediante el control de la escorrentía en el paisaje urbano. Estos sistemas tienen como objetivo reducir la cantidad de agua en el vertido final y mejorar la calidad del agua vertida en el entorno natural, logrando soluciones integradas de gestión del ciclo del agua vinculadas a la protección ambiental de las aguas receptoras. Existen varias tipologías: sistemas de ralentización y conducción; sistemas de almacenamiento y filtración; sistemas de transporte y sistemas de tratamiento pasivo.

En el Parque Nelson Mandela (Molina de Segura) se instalaron tres tipos de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) para controlar el flujo de agua de lluvia, con el objetivo de retener temporalmente la escorrentía generada por las fuertes lluvias, laminar el flujo máximo, reducir los efectos de las inundaciones en la carretera del Chorríco, evitar el arrastre de tierra de los lechos de flores y utilizar esta agua para regar los árboles plantados en el parque. Estos son:

1. Canaleta vegetada: es un tipo de sistemas de transporte de drenaje sostenible, que son dispositivos cuya misión es transportar agua pluvial a otros sistemas de tratamiento importantes o a sitios de descarga apropiados. Son sistemas de transporte lineal y, como tales, generalmente se colocan en los laterales de las carreteras, siendo en algunos casos ellas mismas los puntos de recogida de agua de escorrentía que se transportará al siguiente sistema de gestión.
2. Zanjas de infiltración: Las zanjas de infiltración son un tipo de sistema de almacenamiento y filtración y se utilizan como estrategia para controlar la cantidad de flujo de escorrentía en áreas residenciales de media a alta densidad. Recogen y almacenan agua de escorrentía hasta que se infiltra en el suelo natural y puede incorporar vegetación, ofreciendo una vista estética importante en la ciudad. La distancia mínima a la tabla freática es de 1,2 metros para permitir la exfiltración.
3. Pozos de infiltración: también caen bajo la tipología de los sistemas de almacenamiento y filtración. Un elemento específico para la captura de aguas superficiales para almacenamiento e infiltración. Se pueden instalar en el entorno urbano alrededor de árboles, rotondas o zonas verdes, o como complemento a las zanjas de infiltración, permitiendo así la infiltración de un mayor volumen de agua y evitando el posible desbordamiento de la zanja. El pozo de infiltración debe llenarse con material de drenaje granular para filtrar el agua de escorrentía antes de la infiltración en el suelo. Los geotextiles de filtro y separación se utilizan a menudo para envolver el material granular, y los drenajes de emergencia se utilizan para enviar el exceso al sistema de alcantarillado en caso de que se supere la capacidad de diseño.

Además, en el Parque Nelson Mandela, se han desarrollado pruebas de penetración dinámica con registro continuo, que son un tipo de prueba de campo cuya función es la caracterización geotécnica de un suelo. Estos ensayos proporcionan una medición continua de la resistencia a la penetración, comenzando en el nivel de la superficie hasta la profundidad máxima que debe alcanzarse con el ensayo, o hasta que se rechaza el accionamiento. Son pruebas de bajo costo

y altamente representativas, especialmente para suelos granulares y mixtos, y son una fuente importante de datos sobre la resistencia del suelo.

Conocer las características y estudiar el coeficiente de permeabilidad del suelo es de gran importancia para planificar las medidas a desarrollar en el mismo. En el caso de los árboles ornamentales, lo ideal es tener suelos con un límite superior de 25 cm/h, es decir, se deben evitar suelos con baja capacidad de retención de agua. Por otro lado, el límite inferior no debe ser inferior a 5 cm/h, ya que la susceptibilidad al riego es muy alta. Se puede solicitar más información sobre estas pruebas o sus resultados al equipo de LIFE CITYADAP3 a través de la página web.

v. Estabilización de la tierra

Desde un punto de vista general, las soluciones de estabilización de taludes deben seleccionarse en función de las características específicas del terreno y las necesidades del proyecto.

Aunque en Lorquí solo se han implementado soluciones para la estabilización de suelos y taludes, su casuística particular ha hecho que en la última década se hayan probado múltiples soluciones con diversos grados de éxito, lo que ha ayudado al municipio a alcanzar los siguientes aprendizajes:

- Las paredes de hormigón son una solución común para la estabilización de taludes, ya que ofrecen una alta estabilidad y resistencia. Además, son relativamente fáciles de construir y se pueden personalizar para adaptarse a condiciones específicas del suelo. Sin embargo, las paredes de hormigón pueden ser caras y pueden ser antiestéticas, rígidas y bastante impermeables.
- El hormigón gunitado implica la aplicación de una capa de hormigón proyectado sobre el talud que se desea estabilizar. Las ventajas incluyen su alta resistencia y durabilidad, lo que lo hace adecuado para pendientes muy pronunciadas o condiciones de alta exposición a la intemperie. Sin embargo, la gunita de hormigón puede ser costosa y requiere equipo especializado para su aplicación. Una vez más, sería una solución rígida con poca o ninguna permeabilidad (dependiendo de qué solución se busca para el drenaje), lo que aumenta las escorrentías superficiales.
- Los muros de gaviones son estructuras construidas con cajas de malla de alambre llenas de piedra u otro material de relleno. Son una solución económica y estéticamente atractiva, ya que son relativamente baratas y se pueden adaptar a las condiciones del suelo. Sin embargo, las paredes de gabión no son adecuadas para pendientes muy pronunciadas o condiciones de alta exposición a la intemperie. Por su propia composición son completamente drenantes y permiten movimientos menores en el suelo. También requieren espacio suficiente para ser colocados, por lo que no son ideales para acciones a pequeña escala.
- Las georedes son estructuras de malla flexibles diseñadas para ser colocadas en la superficie de pendiente y ancladas al suelo con clavos o grapas. Son una solución eficaz para la estabilización de taludes con inclinación moderada, y son relativamente fáciles de instalar. Sin embargo, las georedes pueden ser menos efectivas en condiciones de alta exposición a la intemperie o en pendientes muy pronunciadas.

- Las geocélulas son estructuras tridimensionales hechas de materiales como plástico o geotextil, que se llenan de tierra, piedra u otro material de relleno. Son eficaces para estabilizar pendientes moderadamente pronunciadas, y pueden ser menos costosas que otras soluciones, como los muros de hormigón. Sin embargo, las geocélulas pueden requerir más mantenimiento a largo plazo que otras soluciones.
- Las mantas biodegradables son una solución más respetuosa con el medio ambiente para la estabilización de taludes, ya que están hechas de materiales biodegradables como paja o fibra de coco. Son una solución adecuada para pendientes moderadamente pronunciadas y pueden ser menos costosas que otras soluciones como los muros de hormigón. Sin embargo, las mantas biodegradables pueden requerir más mantenimiento a largo plazo y pueden no ser adecuadas para condiciones climáticas elevadas o cuando hay pendientes pronunciadas o problemas estructurales.

No hay que olvidar las limitaciones operativas que la configuración misma de los cerros de Lorquí le da a una zona altamente urbanizada, falta de espacio y pendientes pronunciadas. Por esta razón, también deben tenerse en cuenta las ventajas y desventajas de las soluciones desde un punto de vista constructivo. En cualquier caso, si se aborda el análisis de la construcción en términos de rendimiento económico, cada solución tendrá sus propios costos asociados, que dependerán de factores como la cantidad de material requerido, la dificultad de acceso al lugar de trabajo, el tipo de maquinaria y equipos requeridos, y el costo de la mano de obra. Por ejemplo, cabe señalar que la construcción de un muro de hormigón puede ser más rentable por encima de un cierto volumen, ya que el costo de la maquinaria requerida para su construcción es mayor. Por otro lado, soluciones como gaviones o georedes pueden ser más económicas en términos de materiales y mano de obra.

Lo mismo sucede cuando se clasifican estas soluciones en función de su sostenibilidad ambiental. Algunas opciones tienen un mayor impacto ambiental que otras, pero la huella de carbono específica de cada una de ellas depende de varios factores, como la cantidad de materiales utilizados, la distancia de transporte de los materiales y la energía utilizada durante la construcción.

La experiencia de los últimos años ha permitido al municipio elaborar conclusiones sobre qué soluciones son más adecuadas para su contexto específico. En general, para un terreno margoso como el de Lorquí, las opciones más adecuadas para el drenaje remansos y la adaptación a los movimientos del suelo pueden ser las georedes, los muros de gaviones y las geocélulas. Estas opciones pueden permitir el drenaje del remanso y distribuir las cargas de manera efectiva, lo que reduce la posibilidad de fallo en la pendiente. Además, estas opciones tienen una mayor flexibilidad y capacidad para adaptarse a los movimientos del suelo en comparación con las soluciones basadas en concreto.

En cualquier caso, es importante tener en cuenta que la elección de una u otra solución debe basarse en un análisis detallado de los requisitos específicos del proyecto, incluidas las condiciones del sitio, los requisitos de rendimiento y la viabilidad económica. Como hay tantos factores implicados en la decisión, se ha elaborado un resumen que prioriza las diferentes soluciones en función de los pesos (del 0 al 10) asignados a cada solución teniendo en cuenta criterios estructurales, ambientales, constructivos, económicos...

Mesa1. Análisis multicriterio para comparar opciones de estabilización de tierras en el caso de Lorquí.

SOLUCIÓN	CRITERIO						Total	Promedio
	Estructural	Ambiental	Presencia de movimientos de agua o tierra	Pendiente	Construcción	Económico		
Muros de hormigón	10	2	3	8	5	2	30	5,00
Gunitado	6	3	2	7	7	3	28	4,67
Georedes	6	6	7	8	8	8	43	7,17
Geocells	4	8	7	6	8	6	39	6,50
Mantas biodegradables	2	10	7	6	9	10	44	7,33
Muros de Gabion	8	7	6	7	7	4	39	6,50

Sobre esta base, se pueden extraer una serie de conclusiones que pueden facilitar el enfoque de una solución u otra:

- La solución más económica y ventajosa para el medio ambiente, como es lógico, es el uso de mantas biodegradables, aunque su uso está limitado por su baja capacidad estructural.
- El uso de georedes o geocélulas puede ser una solución similar, aunque ofrecen ciertas ventajas como el aumento de la capacidad estructural y la durabilidad. Sin embargo, implican un mayor costo y el uso de materiales menos sostenibles desde el punto de vista ambiental, incluso si se utilizan materiales reciclados. Entre los dos, la instalación de georedes es inevitable cuando se trata de pendientes pronunciadas (>35º) siempre y cuando las geocélulas se llenen de tierra vegetal o grava.
- Cuando la prioridad es encontrar soluciones que aseguren la estabilidad estructural de la pendiente, o cuando se trate de áreas donde se concentran altas tensiones de pendiente (>50º), la solución ideal sería el uso de muros de gaviones debido a su capacidad de drenaje o adaptación a los desplazamientos del suelo.
- En base a lo anterior, el uso de muros de hormigón solo tendría sentido cuando se trate de situaciones estructuralmente muy complejas (desniveles muy verticales, falta de espacio, concentración de tensiones, etc.) y siempre teniendo mucho cuidado con su ejecución, donde se debe garantizar un sistema de drenaje eficaz para la parte posterior de la pared.

Estas conclusiones se resumen en la Figura6.

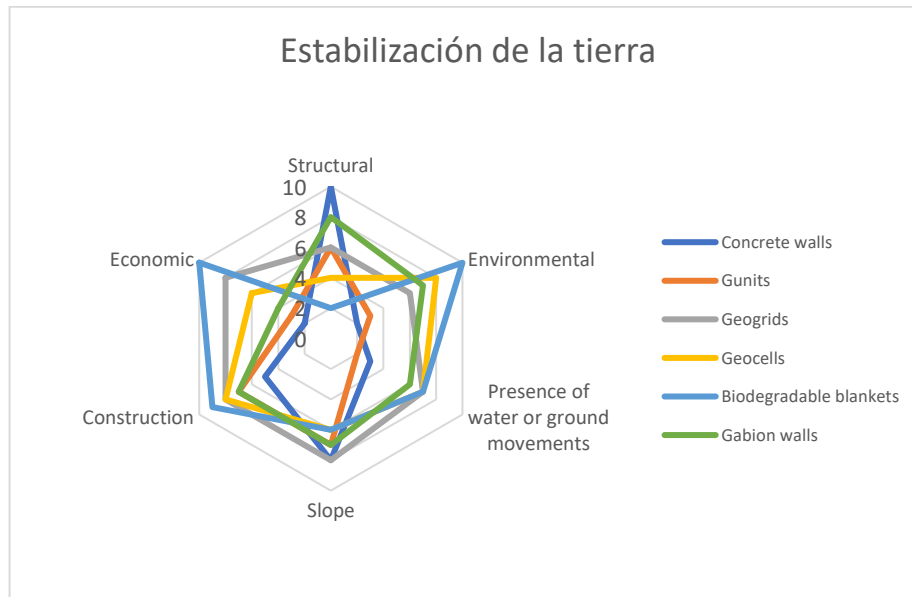


Figura6. Evaluación multicriterio para la selección de la solución de estabilización del suelo más adecuada para Lorquí

Este análisis detallado debe ser llevado a cabo por cualquier entidad antes de emprender obras civiles para la estabilización del suelo. Una forma es estudiar la pérdida de suelo a través del análisis de los parámetros de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). Esto se ha llevado a cabo en el Parque Nelson Mandela. Para obtener más información sobre este estudio, póngase en contacto con el equipo de LIFE CITYAdaP3 a través del formulario proporcionado en la página web.

La evaluación de las diferentes soluciones teniendo en cuenta diferentes criterios (ambientales, estructurales, geológicos, topográficos, económicos...) maximiza la probabilidad de éxito de las obras. Herramientas como la evaluación multicriterio también pueden ayudar a proporcionar una visión completa y evaluada de la solución más adecuada para cada situación.

4. Directrices para otros municipios

Generación de sombras	
Artificial	Natural
<p>Opción ideal cuando las condiciones no permiten plantar árboles.</p> <p>Posibilidad de utilizar materiales sostenibles (madera, textiles naturales...), por lo que la huella de carbono no es alta.</p> <p>Posibilidad de combinarlo con plantas, aumentando sus beneficios para la reducción de temperatura.</p>	<p>Mejor opción cuando el espacio y las condiciones lo permiten, ya que tiene múltiples beneficios asociados y proporciona una gran variedad de servicios ecosistémicos.</p> <p>Importancia de seleccionar las especies correctas y asegurar su manejo.</p>
Renaturalización (especies vegetales)	
Autóctono	Exótico
<p>El uso de especies nativas está especialmente recomendado en áreas rurales o urbanas y periurbanas cercanas a espacios naturales. De este modo, se minimiza el riesgo de introducción de especies exóticas en zonas silvestres.</p> <p>Las especies nativas mejoran la biodiversidad local. Han evolucionado conjuntamente con la vida silvestre local, proporcionando hábitat, fuentes de alimentos e interacciones ecológicas que apoyan la salud general de los ecosistemas.</p> <p>Las especies autóctonas tienen una alta capacidad de adaptación a las condiciones ambientales locales, como el clima, el suelo y la hidrología.</p> <p>Las especies nativas contribuyen al sentido del lugar, preservan las tradiciones locales y potencian el valor cultural de los paisajes urbanos</p> <p>Las especies autóctonas no tienen potencial invasivo.</p>	<p>Cuando se utilizan especies exóticas, se deben evitar las especies invasoras. Esto requiere una revisión de las listas de especies invasoras a nivel regional, nacional y europeo. Se recomienda utilizar especies que ya han demostrado su eficacia y que se han utilizado tradicionalmente en entornos urbanos.</p> <p>Las especies exóticas no invasivas pueden aumentar la diversidad de plantas y crear ecosistemas urbanos más resilientes y funcionales. Algunas especies no nativas pueden adaptarse mejor a las tensiones urbanas, como la contaminación, el suelo compactado y la disponibilidad limitada de agua. Estas especies pueden ayudar a las áreas urbanas verdes más rápidamente y resistir condiciones difíciles.</p> <p>Las especies no nativas pueden introducir nuevos colores, formas y texturas en entornos urbanos, creando paisajes visualmente atractivos.</p> <p>Las especies no nativas pueden escapar del cultivo, superar a las plantas nativas y alterar los ecosistemas locales, lo que lleva a la pérdida de</p>

biodiversidad y servicios ecosistémicos. Se necesita una cuidadosa selección y gestión de especies exóticas para evitar sus posibles impactos negativos.

Renaturalización (Paisajismo)

Microbosque	Setos rurales	Césped de polifito	Hileras de árboles	Diseño personalizado
<p>Permite optimizar la gestión ecológica pública, que es, por lo tanto, beneficiaria tanto en términos económicos (plantación de plantas jóvenes como de bajo costo; reducción de los costes de gestión) y en relación con las expectativas de «efecto inmediato» que a menudo se buscan en este tipo de intervenciones.</p> <p>Estas intervenciones están ampliamente documentadas en la literatura, y han manifestado un gran impacto positivo en los indicadores ambientales y ecológicos relacionados con la biodiversidad y la salud de los suelos. La</p>	<p>Opción ideal para áreas de espacio limitado, ya que permiten múltiples combinaciones de especies, capas y tamaños. Funcionan como «corredor ecológico» dentro de entornos altamente antropizados y pueden ejercer una influencia significativa en el microclima.</p> <p>Regulan el flujo del viento (actividad de rotura del viento), reduciendo su velocidad y limitando la «evapotranspiración».</p> <p>La presencia de sistemas radiculares favorece la consolidación del suelo y limita la erosión superficial. La acción de los sistemas radiculares también permite una mayor absorción de agua, estabilizando los acuíferos a</p>	<p>El aspecto positivo de las praderas polifíticas es que pueden cultivarse tanto en condiciones secas como a través de la gestión del riego. Por lo tanto, pueden ser un sustituto de la hierba común.</p> <p>Aparte de su valor ambiental y ecológico tiene un significado cultural: concienciar sobre las prácticas virtuosas de cultivo, a favorecer en el sector agrícola; y educativo para los ciudadanos, acostumbrados a concebir el césped como un trasfondo monótono e indiferenciado, más que como un ecosistema fundamental para la salud del suelo y la biodiversidad.</p>	<p>Opción adecuada para un mayor sombreado de las áreas más descubiertas de los espacios públicos, expuestas a mayores cantidades de radiación solar directa (zonas de juego y similares) y trayectorias ciclistas de peatones.</p> <p>Su curso más o menos recto debe definirse sobre la base de la necesidad de identificar claramente los espacios formalmente perceptibles, garantizando al mismo tiempo la permeabilidad visual con respecto a los demás elementos del contexto.</p>	<p>Otra opción es diseñar proyectos específicos de reforestación teniendo en cuenta las características del parque, las necesidades de población y medio ambiente y los requisitos de la especie.</p> <p>Deben incorporarse especies de diferentes tamaños y características morfológicas, fisiológicas y estéticas, con el objetivo de generar un diseño lo más similar posible al ecosistema natural de la zona.</p>

correcta selección de especies es esencial y debe ser realizada por un profesional.	través del suministro de agua superficial. Por último, los setos representan un reservorio fundamental de biodiversidad.	Las especies adecuadas deben ser seleccionadas para que puedan crecer de manera óptima sin la necesidad de un cuidado permanente.		
Permeabilidad del suelo				
Pavimento permeable	Canaleta vegetada	Zanjas de infiltración	Pozos de infiltración	Cuencas de infiltración
Los pavimentos permeables permiten que el agua de lluvia pase a través de ellos y se percola al suelo natural subyacente. Se puede proponer hormigón permeable y poroso con alta capacidad de drenaje. Sin embargo, se debe considerar la composición geológica del suelo antes de instalar este tipo de solución. Los terrenos inestables hacen necesario evaluar cuidadosamente los materiales a utilizar, teniendo en cuenta tres factores: permeabilidad, flexibilidad y la carga que colocan en el suelo.	Es un tipo de sistemas de transporte de drenaje sostenible, y se trata de dispositivos cuya misión es transportar agua pluvial a otros sistemas de tratamiento importantes o a sitios de descarga adecuados, lo que proporciona una serie de beneficios a lo largo del camino. Las canaletas vegetadas son sistemas de transporte lineal y, como tales, generalmente se colocan a los lados de las carreteras, siendo en algunos casos ellas mismas los puntos de recogida de agua de escorrentía que se transportará al siguiente sistema de gestión.	Son un tipo de sistema de almacenamiento y filtración y se utilizan como estrategia para controlar la cantidad de flujo de escorrentía en áreas residenciales de media a alta densidad. Recogen y almacenan agua de escorrentía hasta que se infiltra en el suelo natural y puede incorporar vegetación, ofreciendo una vista estética importante en la ciudad. La distancia mínima al nivel freático es de 1,2 metros para permitir la exfiltración. Se han utilizado geotextiles y se utilizarán geotextiles de separación para envolver el material granular.	También caen bajo la tipología de los sistemas de almacenamiento y filtración. Un elemento específico para la captura de aguas superficiales para almacenamiento e infiltración. Se pueden instalar en el entorno urbano alrededor de árboles, rotondas o zonas verdes, o como complemento a las zanjas de infiltración, permitiendo así la infiltración de un mayor volumen de agua y evitando el posible desbordamiento de la zanja. El pozo de infiltración debe llenarse con material de drenaje granular para filtrar el agua de escorrentía antes	Son otro tipo de sistema de almacenamiento y filtración. Son elementos para la vegetación que permiten la infiltración del agua de lluvia. Es aconsejable que estén conectados entre sí para amplificar la capacidad de infiltración.

			de la infiltración en el suelo.	
			Los geotextiles de filtro y separación se utilizan a menudo para envolver el material granular, y los drenajes de emergencia se utilizan para enviar el exceso al sistema de alcantarillado en caso de que se supere la capacidad de diseño.	
Estabilización de la tierra				
Muros de hormigón	Gunitado	Georedes		
Ofrecen alta estabilidad y resistencia. Además, son relativamente fáciles de construir y se pueden personalizar para adaptarse a condiciones específicas del suelo. Sin embargo, las paredes de concreto pueden ser caras y pueden ser antiestéticas. Además, son rígidos y bastante impermeables y, si no se drenan adecuadamente por detrás, pueden conducir a la acumulación de agua subterránea y filtración de agua de lluvia.	Implica la aplicación de una capa de hormigón proyectado en el talud que se desea estabilizar. Las ventajas del hormigón gunitado incluyen su alta resistencia y durabilidad, lo que lo hace adecuado para pendientes muy pronunciadas o condiciones de alta exposición a la intemperie. Sin embargo, el hormigón gunitado puede ser costoso y requiere de un equipo especializado para su aplicación. Sería una solución rígida con poca o ninguna permeabilidad (dependiendo de qué solución se	Las georedes son estructuras de malla flexibles diseñadas para ser colocadas en la superficie de pendiente y ancladas al suelo con clavos o grapas. Las georedes son una solución eficaz para la estabilización de pendientes con inclinación moderada, y son relativamente fáciles de instalar. Sin embargo, las georedes pueden ser menos efectivas en condiciones de alta exposición a la intemperie o en pendientes muy pronunciadas.		

Geocélulas	Mantas biodegradables	Muros de gaviones
<p>Estructuras tridimensionales hechas de materiales como plástico o geotextil, que se llenan de tierra, piedra u otro material de relleno. Las geocélulas son eficaces para estabilizar las pendientes moderadamente pronunciadas, y pueden ser menos costosas que otras soluciones, como los muros de hormigón. Sin embargo, las geocélulas pueden requerir más mantenimiento a largo plazo que otras soluciones.</p>	<p>Es una solución más respetuosa con el medio ambiente para la estabilización de taludes, ya que están hechas de materiales biodegradables como paja o fibra de coco. Las mantas biodegradables son una solución adecuada para pendientes moderadamente pronunciadas y pueden ser menos costosas que otras soluciones como los muros de hormigón. Sin embargo, las mantas biodegradables pueden requerir más mantenimiento a largo plazo y pueden no ser adecuadas para condiciones climáticas altas.</p>	<p>Estructuras de malla flexibles diseñadas para ser colocadas en la superficie de pendiente y ancladas al suelo con clavos o grapas. Las georedes son una solución eficaz para la estabilización de pendientes con inclinación moderada, y son relativamente fáciles de instalar. Sin embargo, las georedes pueden ser menos efectivas en condiciones de alta exposición a la intemperie o en pendientes muy pronunciadas.</p>



LIFECITYADAP3