

# Guía para la evaluación de la efectividad y el diseño de Soluciones Naturales como medidas de mitigación y adaptación al cambio climático



**CREANDO ESPACIOS CONFORTABLES,  
SALUDABLES Y RESILIENTES**



**Autores:**

Lur Epelde<sup>1\*</sup>; Maddalen Mendizabal<sup>2\*</sup>; Ainara Artetxe<sup>1</sup>; Pilar Fernández<sup>2</sup>; Laura Gutiérrez<sup>2</sup>; Gemma García-Blanco<sup>2</sup>; Efren Feliu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NEIKER-Tecnalia

<sup>2</sup>Tecnalia Research and Innovation

\*Primera autoría compartida



**Diseño y maquetación:**

Imaginarte con Arte S.L.

**Edición:**

Junio 2018

**Agradecimientos:**

Al ayuntamiento de Donostia-San Sebastián, por la información facilitada y su participación en el proyecto.

A IHOB, sociedad pública de gestión ambiental del Gobierno Vasco, por financiar proyectos previos en la misma línea temática.

**Con el apoyo de:**



Publicación realizada en el marco del proyecto NATURADAPT, sobre “Estándares y directrices para la evaluación de efectividad y diseño de soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación urbana al cambio climático con enfoque multiescalar”, que cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica, a través de la convocatoria de concesión de ayudas para la realización de proyectos en materia de adaptación al cambio climático para el ejercicio 2016.

Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto.

# Índice

<b>0. Introducción</b> .....	5
0.1 Contexto de la guía en el marco de la mitigación y la adaptación al cambio climático .....	5
0.2 Objetivos, aproximación y destinatarios .....	8
0.3 Propuesta metodológica.....	11
0.4 Cómo usar la guía.....	12
<b>1. Fase I: Contextualización del municipio en relación al cambio climático (mitigación y adaptación)</b> .....	13
1.1 Descripción de la fase I, II, III y IV y objetivos clave .....	13
1.2 Pasos a seguir.....	14
1.3 Métodos y herramientas .....	17
1.4 Ejemplo práctico .....	25
<b>2 Fase II: Identificación y caracterización de las Soluciones Naturales</b> .....	33
2.1 Descripción de la fase y objetivos clave.....	33
2.2 Pasos a seguir.....	36
2.3 Métodos y herramientas .....	38
2.4 Ejemplo práctico .....	45
<b>3 Fase III: Cuantificación de la efectividad de las Soluciones Naturales</b> .....	47
3.1 Descripción de la fase y objetivos clave.....	47
3.2 Pasos a seguir.....	49
3.3 Métodos y herramientas .....	52
3.4 Ejemplo práctico .....	65
<b>4 Fase IV: Decisión de qué, cómo y dónde implantar</b> .....	75
4.1 Descripción de la fase y objetivos clave.....	75
4.2 Pasos a seguir.....	76
4.3 Métodos y herramientas .....	78
4.4 Ejemplo práctico .....	79
<b>5 Aplicabilidad de la evaluación de efectividad de Soluciones Naturales y corolario</b> .....	83



# Introducción

## 0.1 Contexto de la guía en el marco de la mitigación y la adaptación al cambio climático

Como ya se indicaba en el Plan Nacional de Adaptación (2006)<sup>1</sup>, la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático y en el 5º Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2014)<sup>2</sup>, dos de las principales variaciones climáticas a las que se enfrenta nuestro país son la **variabilidad de la temperatura y la del régimen de las precipitaciones**. Se esperan tanto **cambios graduales** (aumento de la temperatura, variación del régimen de precipitaciones) como **extremos** (inundaciones, olas de calor), en Europa así como en España.

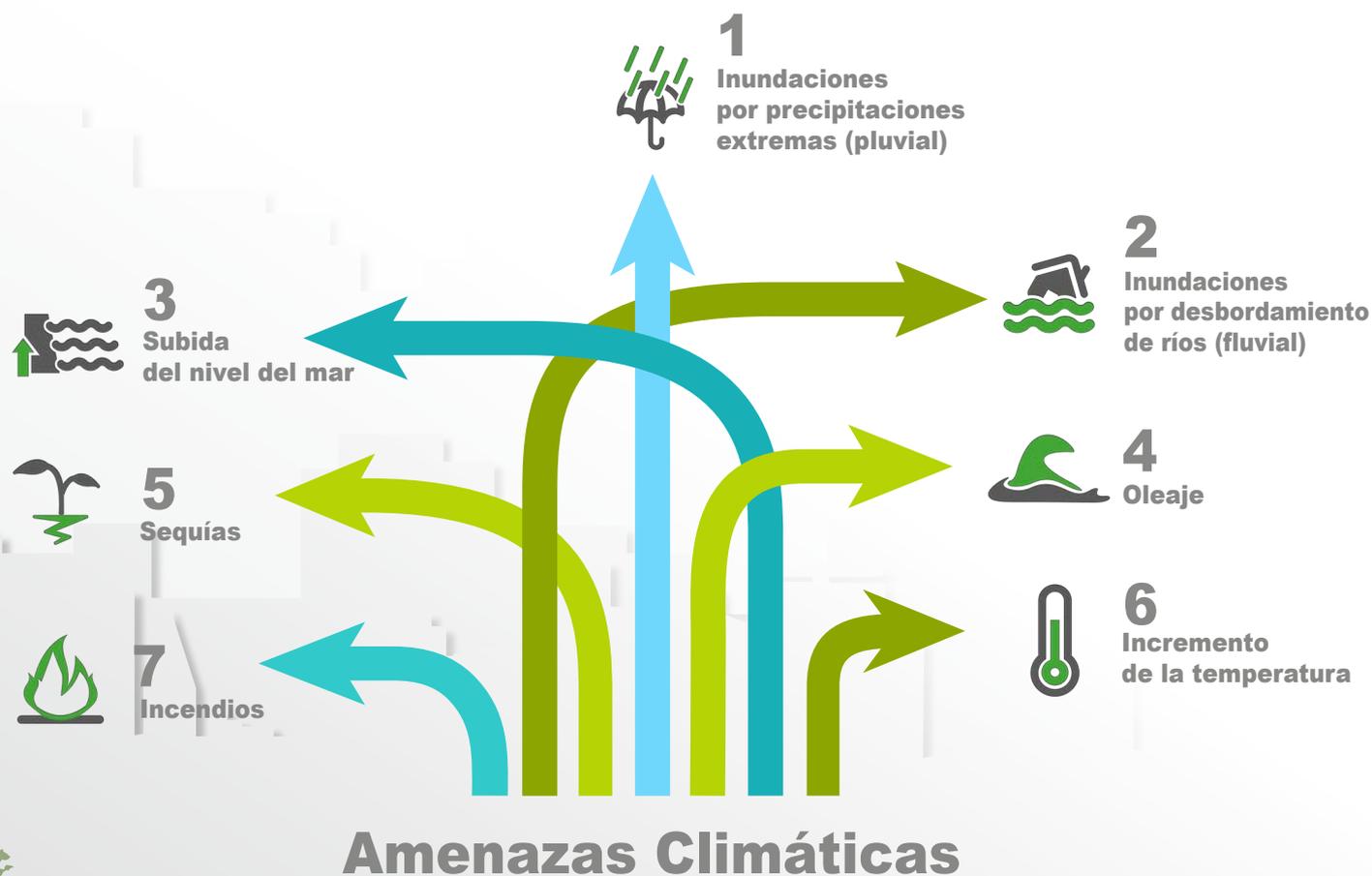


Figura 1. Amenazas climáticas a las que se enfrentan las ciudades y municipios (Gutiérrez et al., 2017).

<sup>1</sup> Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, 2006

<sup>2</sup> IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; eds. Pachauri RK, Meyer LA. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Es necesario hacer frente a esta problemática tanto desde una aproximación global como local, teniendo en cuenta las características y circunstancias de cada realidad territorial, municipio o barrio.

Las áreas urbanas son sistemas complejos e los que tienen lugar muchos procesos que juegan un papel fundamental en la economía y el estado del bienestar social a todas las escalas. Son corresponsables del cambio climático a través de su contribución a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEIs) y al mismo tiempo receptores de los impactos climáticos, habitualmente adversos, en forma de sequías, inundaciones o de intensificación del efecto de isla de calor urbano por ejemplo, lo que puede ocasionar daños medioambientales, económicos y sociales, incluyendo afecciones a la salud, daños a viviendas e infraestructuras, pérdida de negocios o merma de productividad entre otros. Ante esta coyuntura, **es clave que la gestión y el desarrollo urbano integren de forma efectiva la mitigación y adaptación al cambio climático.**

En los últimos años se está produciendo un impulso importante a las políticas de adaptación, que en Europa se ven materializadas, por ejemplo, a través de la Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático (2013)<sup>4</sup>, o la Iniciativa del Pacto de los Alcaldes sobre la adaptación al cambio climático, más conocida como *Mayors Adapt* (2014)<sup>5</sup>, inicialmente complementaria al Pacto de Alcaldes en la que finalmente ha quedado integrada desde 2016

y a la que se han adherido ya un número relevante de municipios.

Este compromiso local se observa también en la cada vez mayor concienciación y participación que tienen los municipios en otras iniciativas internacionales como, por ejemplo, el *Compact of Mayors*<sup>6</sup> (englobada recientemente, junto con el *Covenant of Mayors o Pacto de los Alcaldes*<sup>7</sup>, en el *Global Covenant of Mayors for Climate & Energy*<sup>8</sup>), con el objetivo, entre otros, de prepararse para afrontar los impactos del cambio climático.

La Administración Local es la más próxima a la población y ello le otorga un rol trascendente a la hora de canalizar la participación de diversos agentes y ciudadanía. En **su papel ejemplarizante**, los Ayuntamientos pueden promover, entre otras políticas de adaptación, el necesario cambio en el diseño y desarrollo urbano, así como en los hábitos y estilos de vida de la ciudadanía que permitan hacer frente al cambio climático de forma más efectiva.

Según es el reparto competencial entre diferentes administraciones, **los municipios cuentan con importante capacidad adaptativa a través de políticas locales especialmente relevantes**, como son la planificación urbanística, el abastecimiento de agua potable, las redes de saneamiento y el tratamiento de aguas residuales, la gestión de vías y espacios públicos, la protección medioambiental, o la salud pública.

<sup>3</sup> Gutiérrez L, García G, García I, Gea A, Lopez A, 2017. 'Soluciones Naturales' para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco. IHOBE, Bilbao

<sup>4</sup> Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático [https://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what_en)

<sup>5</sup> Mayors Adapt <http://mayors-adapt.eu/>

<sup>6</sup> Compact of Mayors <https://www.compactofmayors.org/>

<sup>7</sup> Pacto de los Alcaldes <https://www.pactodelosalcaldes.eu/es/>

<sup>8</sup> Global Covenant of Mayors for Climate & Energy <http://www.globalcovenantofmayors.org/>

Según es el reparto competencial entre diferentes administraciones, **los municipios cuentan con importante capacidad adaptativa a través de políticas locales especialmente relevantes**, como son la planificación urbanística, el abastecimiento de agua potable, las redes de saneamiento y el tratamiento de aguas residuales, la gestión de vías y espacios públicos, la protección medioambiental, o la salud pública.

En este contexto, la **adaptación basada en los ecosistemas y las Soluciones Naturales** como medidas de adaptación y mitigación del cambio climático están tomando una especial relevancia. Se trata de intervenciones que para ayudar a la sociedad a hacer frente al cambio climático utilizan los ecosistemas naturales o incorporan elementos inspirados en la naturaleza y en sus procesos, tales como cubiertas y fachadas vegetales o balsas de laminación natural entre otras. Este enfoque pone en valor la **multifuncionalidad** y los co-beneficios ambientales, sociales y económicos de las soluciones naturales, pudiendo dar respuesta de forma simultánea a distintos retos urbanos además con buenos ratios de **coste/efectividad**. La guía de Soluciones naturales para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco<sup>9</sup> es un buen ejemplo que ofrece una clasificación de soluciones naturales según su escala y ámbito de implementación (edificio, espacios públicos, infraestructuras lineales, etc.), indicando para cada una de ellas una valoración semi-cuantitativa de beneficios relativos al cambio climático (mejora de estrés térmico, reducción de inundaciones, etc.)

así como co-beneficios asociados a las mismas (demanda energética, calidad ambiental, salud, etc.).

La efectividad de las soluciones naturales se asocia a la cuantificación de los beneficios que proveen, por ejemplo, con respecto a la mejora del confort térmico o la reducción de escorrentía superficial. Existen una cantidad considerable de estudios y casos de referencia demuestran la efectividad de la implementación de medidas de adaptación de este tipo. En cualquier caso, es una temática de creciente interés y actualmente se están desarrollando números proyectos de investigación aplicada con el objeto de monitorizar y evaluar los beneficios y la efectividad de las soluciones naturales. Estas iniciativas, muchas de ellas impulsadas por la Comisión Europea, tienen por objeto la generación de nuevas evidencias y una base de conocimiento que permita un despliegue generalizado de las soluciones naturales.

Siendo así, cabe señalar que la biodiversidad se encuentra muy vinculada al cambio climático, ya que la capacidad de adaptación a las nuevas condiciones climáticas será tanto mayores cuanto mejor sea el estado de conservación de los ecosistemas. Es por ello que el papel de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la adaptación al cambio climático y la mitigación ha sido reconocido tanto en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)<sup>10</sup> como en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC)<sup>11</sup>.

<sup>9</sup> Gutiérrez L, García G, García I, Gea A, Lopez A, 2017. 'Soluciones Naturales' para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco. IHOBE, Bilbao

<sup>10</sup> Decisión adoptada por la conferencia de las partes en el convenio sobre la diversidad biológica en su décima reunión x/33. diversidad biológica y cambio climático <https://www.cbd.int/doc/decisions/COP-10/cop-10-dec-33-es.pdf>

<sup>11</sup> Acuerdos de Cancún <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf>

## 0.2 Objetivos, aproximación y destinatarios

El objetivo de esta guía es ofrecer a las administraciones locales un marco metodológico para la **evaluación de múltiples beneficios de las Soluciones Naturales** y de su **efectividad como medidas de mitigación y de adaptación** al cambio climático a nivel local, así como su alineación con los procesos de **planeamiento, diseño y desarrollo urbano**.

Para ello, se ha trabajado en colaboración con el ayuntamiento de Donostia-San Sebastián el desarrollo urbanístico de Txomin Enea como **caso de estudio**, sirviendo de referencia y ejemplo que ilustra el proceso y planteamiento metodológico.

En esta guía se ofrece material de soporte, metodologías, herramientas y ejemplos del caso de estudio, que pretenden ayudar a la toma de decisiones mejor informada y responsable acerca de qué, cómo y dónde implantar las Soluciones Naturales, en base a **estimaciones cuantitativas de los beneficios** que aportarían en **cuatro variables** ambientales:

1. **temperaturas extremas,**
2. **control de inundaciones,**
3. **captura de carbono, y**
4. **biodiversidad.**

Para ello, se proponen diferentes **escalas de análisis y evaluación**. Por una parte, la **meso-escala** o escala urbana, que puede permitir:

i) cuantificar el máximo despliegue posible de soluciones naturales, ii) analizar sus potenciales beneficios globales en la ciudad en su conjunto; iii) e identificar zonas prioritarias de actuación para la implementación de soluciones naturales considerando la situación de vulnerabilidad y riesgo climático, tal y como también se propone en la guía de Soluciones naturales para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco<sup>12</sup>.

Por otra parte, la **micro-escala**, o escala sub-urbana de barrio, en la que el análisis de efectividad puede apoyar a comparar alternativas de diseño urbano, así como concretar y dimensionar de forma específica las soluciones naturales a implementar.

Así mismo, en esta guía se ofrecen metodologías tanto para una **valoración individual** de cada una de las cuatro variables por separado (temperatura, inundaciones, captura de carbono y biodiversidad), como para la **evaluación integrada** de todos los beneficios que potencialmente ofrecen las Soluciones Naturales.

Es importante señalar que las herramientas y metodologías de análisis de efectividad que se proponen son principalmente **cuantitativas**, basadas en muestreo y analíticas (de suelos, por ejemplo), estaciones de medida y sensores de variables ambientales (como temperatura

<sup>12</sup> Gutiérrez L, García G, García I, Gea A, Lopez A, 2017. 'Soluciones Naturales' para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco. IHOBE, Bilbao

o precipitación), así como herramientas de modelización física (para mapeo térmico o de inundaciones). Quizás el ámbito de los modelos amerita especial mención al tratarse de herramientas informáticas que requieren por una parte de información cartográfica digitalizada de diferente tipo, así como por otra de capacidades técnicas específicas para su uso, existiendo tanto software libre como comercial disponible con diferentes funcionalidades. En la descripción de algunas fases metodológicas de la guía se trata con más detalle estos aspectos y alternativas disponibles.

En cualquier caso, hay que considerar que es posible aplicar este enfoque y la aproximación general que propone la guía de forma **cualitativa**, cuando no existan suficiente información de partida o recursos para llevar a cabo este tipo de estudios.

Es también relevante **contextualizar** la aplicación de las metodologías y herramientas de análisis de efectividad de soluciones naturales que aquí se proponen **en el marco de procesos de adaptación al cambio climático local**. La Guía para la elaboración de Planes Locales de Adaptación de la Oficina Española de Cambio Climático<sup>13</sup> plantea las siguientes fases para su desarrollo: 1) Preparar el proceso, 2) Definir necesidades de adaptación, 3) Identificar opciones de adaptación, 4) Evaluar y seleccionar las medidas, 5) Implementar, 6) Evaluar y monitorizar.

El análisis de efectividad está directamente relacionado con las fases 3 y 4 pues supone un input directo para identificar y seleccionar medidas de adaptación, pero éstas siempre responderán a un diagnóstico de vulnerabilidad y riesgo (fase 2) alimentado por la información disponible recopilada (fase 1), ofreciendo resultados útiles para el diseño e implementación de las medidas (fase 5) cuya efectividad debe monitorizarse a posteriori (fase 6).

Adicionalmente, los recursos ofrecidos en esta guía pueden ser también de utilidad en procesos de **planeamiento urbanístico**, dada la relevancia de esta política municipal para la adaptación y mitigación al cambio climático como se ha señalado anteriormente. Para ello, es preciso definir cuál puede ser el encaje de los resultados del análisis de efectividad de las soluciones naturales según la **escala y el instrumento de planificación**. El planteamiento del Manual de Planeamiento Urbanístico en Euskadi para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático<sup>14</sup> supone un marco adecuado para la integración del análisis de efectividad, pues de forma exhaustiva propone qué enfoque y alcance pueden tener el componente de cambio climático en diferentes escalas e instrumentos, siempre asociados a diferentes amenazas con una relevancia destacada de inundación e isla de calor o temperaturas extremas.

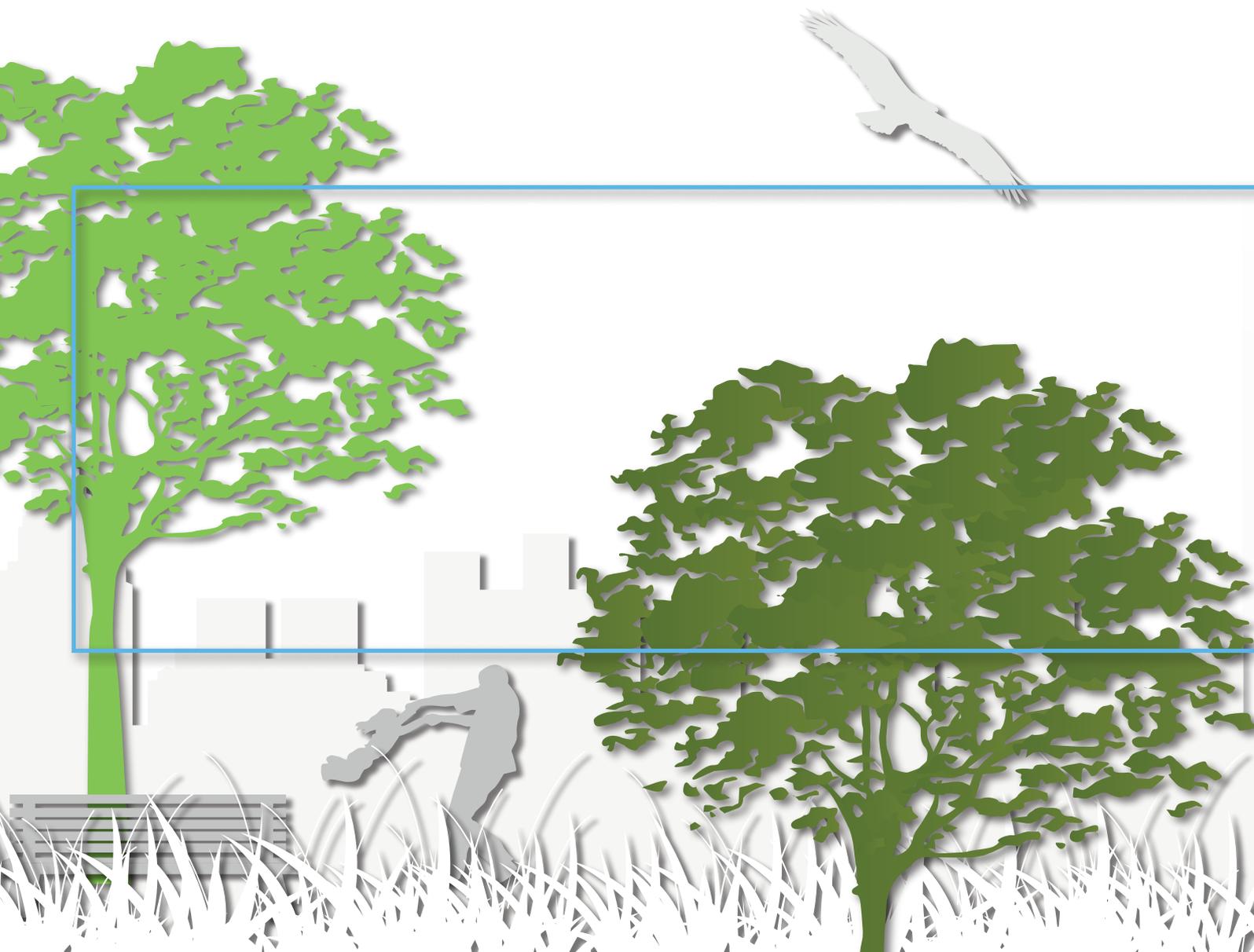
<sup>13</sup> Feliu E, García G, Gutiérrez L, Abajo B, Mendizabal M, Tapia C, Alonso A, 2015. Guía para la elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 100 pág

<sup>14</sup> Ezquiaga Arquitectura, Sociedad y Territorio S.L., TECNALIA Research & Innovation-Energía y Medio Ambiente, 2012. Manual de Planeamiento Urbanístico en Euskadi para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Ihobe, Bilbao, 57 pág

Por último, incidir en que cada ámbito o variable de análisis tiene unos **factores clave de incidencia en la efectividad** de las soluciones naturales que se consideren. Por ejemplo, la amenaza de temperaturas extremas e isla de calor depende principalmente del albedo de las superficies, de la circulación de los vientos, la configuración urbana y de la presencia de vegetación. En el caso de inundaciones pluviales, los factores clave son permeabilidad del suelo, capacidad de absorción y retención de escorrentía de superficies. Para la mitigación del cambio climático, la cantidad de suelo sería el factor principal que incide en la captura de carbono. En cuanto a la conservación de la biodiversidad, factores como la fragmentación de hábitats son primordiales. Estos factores son **determinantes en los**

**resultados del análisis** de efectividad y por tanto deben ser tenidos en cuenta en la identificación de posibles soluciones naturales y en las **alternativas de diseño** que se consideren.

Dados los objetivos y aproximación presentados, la guía está dirigida a los tomadores/as de decisión y técnicos/as de las administraciones locales y empresas públicas, que trabajen principalmente en planeamiento y regeneración urbana, obras y espacio público o servicios del ciclo del agua, pero también de forma general en otras áreas municipales como medio ambiente, salud o emergencias. Así mismo, puede ser de utilidad para profesionales y consultores/as que dan apoyo a los municipios en estas materias.



## 0.3 Propuesta metodológica

A continuación, se presenta el marco conceptual utilizado para el desarrollo de la Guía. El siguiente diagrama de flujo resume los pasos a seguir para conseguir el objetivo de diseñar espacios urbanos con criterios de renaturalización, mejor adaptados al cambio climático y contribuyendo a la mitigación de las emisiones de gases de efecto Invernadero, que promuevan la biodiversidad, siendo más confortables, saludables y resilientes.

La secuencia metodológica propuesta está compuesta de cuatro fases que pueden ser iterativas. La primera fase propone contextualizar y explicitar la problemática climática y ambiental a la que queremos dar respuesta a través de soluciones naturales. La segunda fase plantea la identificación de alternativas de diseño y caracterización de las mismas. La tercera fase concreta la aplicación de posibles herramientas de análisis de efectividad en las cuatro variables abordadas. La cuarta ofrece un marco para la toma de decisiones y la selección de soluciones naturales a implantar.

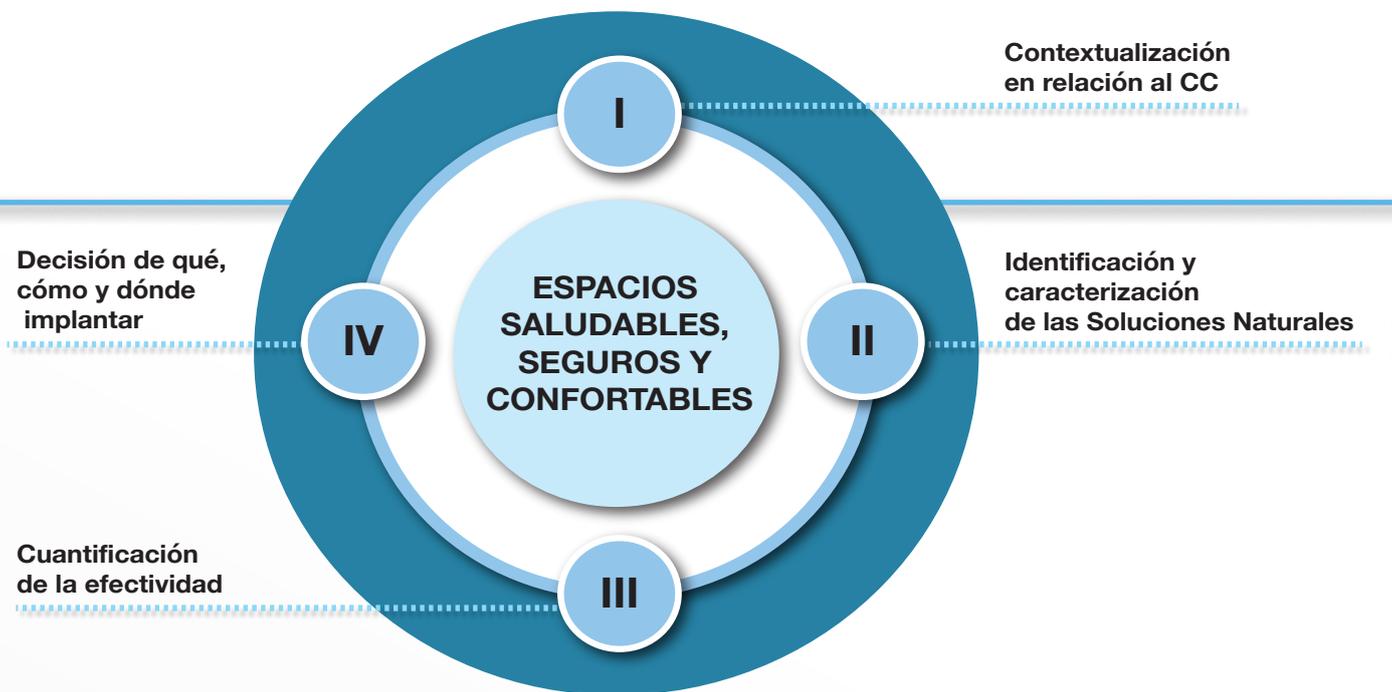


Figura 2. Marco conceptual utilizado para el desarrollo de la guía.

## 0.4 Cómo usar la guía

La guía se estructura en 4 capítulos que se corresponden con las fases de la propuesta metodológica en las que se presentan metodologías específicas y herramientas de análisis asociadas a cada una de ellas. Además, la guía finaliza con un capítulo dedicado a la aplicabilidad de la evaluación de efectividad de Soluciones Naturales a nivel municipal, que retoma algunos de los mensajes introductorios dotándoles de un sentido más preciso una vez conocidas la propuesta metodológica y herramientas.

Para facilitar su aplicación, cada una de las fases de la guía sigue una estructura similar en los siguientes términos:

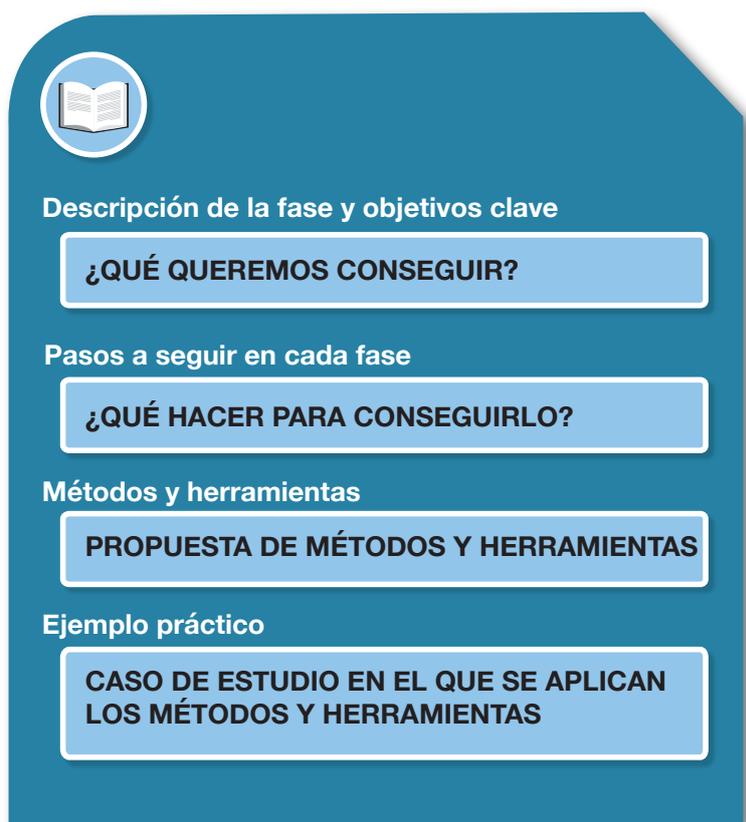


Figura 3. Estructura de cada fase o capítulo.

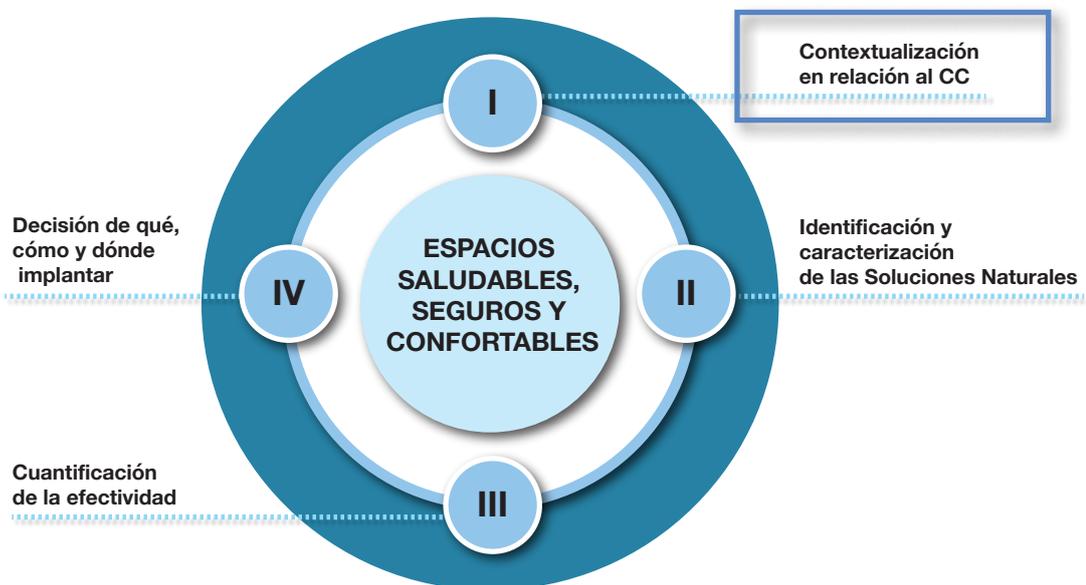
Para navegar por los contenidos de la guía, es posible pasar de una sección a otra haciendo clic en cada fase del marco conceptual.

# 1

## Fase I: Contextualización del municipio en relación al cambio climático (mitigación y adaptación)

### 1.1 Contexto de la guía en el marco de la mitigación y la adaptación al cambio climático

El objetivo de esta fase es identificar el potencial de optimización o **maximización de beneficios y co-beneficios de las Soluciones Naturales** frente a retos climáticos y ambientales, así como establecer un **grupo de trabajo** que permita dirigir el proceso de análisis de efectividad de las mismas. Para ello, es importante conocer el **estado actual** del municipio, así como de las zonas de análisis, en términos de cambio climático y ambiental e identificar el **potencial de mejoras**.



## 1.2. Pasos a seguir

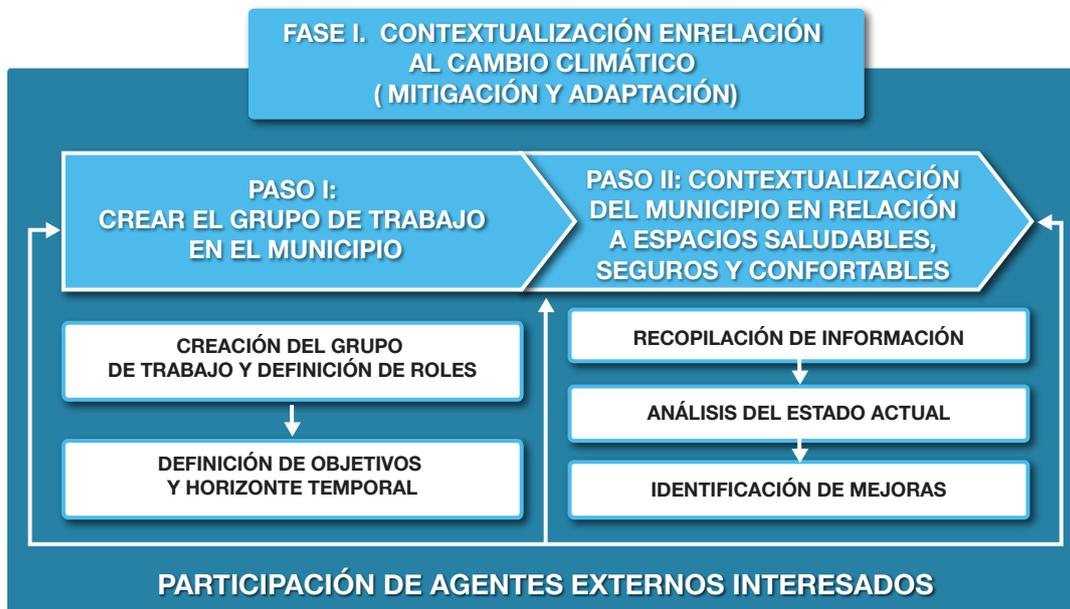


Figura 4. Pasos a seguir en la Fase I.

### **Paso I: Preparación del proceso y creación del grupo de trabajo**

El paso I propone preparar el terreno y crear un grupo de trabajo que dirija la definición del objetivo general de las soluciones naturales y el horizonte temporal del análisis a realizar. Debido a que la mejora de los espacios urbanos puede requerir de la intervención de distintos agentes (internos y externos al ayuntamiento), es importante la identificación de los mismos, la definición de los roles de cada uno, así como la identificación de las fases (entre las 4 propuestas en el marco conceptual) en las que debe participar cada uno.

Es importante además definir si es necesario contar con un plan de comunicación, identificando los mecanismos de difusión y comunicación tanto internos como externos.

### **Paso II: Contextualización del análisis de efectividad y caracterización del municipio o zona de estudio**

El paso II tiene como objetivo **analizar los espacios urbanos en el estado actual** (diseño base). Pueden ser los propios agentes en el grupo de trabajo los que desde cada sector (departamentos de la administración local o agentes del sector privado) aborden activamente el análisis de las posibles soluciones o medidas de adaptación. Este paso permitirá acotar los problemas y detectar los aspectos más importantes que se quieren mejorar: es el input necesario para identificar qué se quiere mejorar (por ejemplo, la amenaza que se quiere combatir), cómo (a través de qué soluciones naturales) y dónde (ubicación idónea para implementarlas). Este input permitirá posteriormente definir alternativas de soluciones

(identificando ubicación y diseño) que permiten que el municipio avance hacia una visión a futuro de municipio resiliente y adaptado al cambio climático.

En este paso es necesario abordar las siguientes actividades: (i) recopilación de información y (ii) análisis de la misma para conocer el estado actual, lo que permite (iii) contextualizar el municipio en relación al potencial de mitigación y adaptación al cambio climático.

Existen dos **posibles escalas de trabajo** en esta fase, tal y como se mencionaba en la introducción a la guía. En la escala **meso-escala** o escala urbana podemos analizar la situación de vulnerabilidad y riesgo de la ciudad en su conjunto frente a amenazas de cambio climático como estrés térmico o inundaciones con un patrón o localización espacial explícita. Para ello, tal y como indica La Guía para la elaboración de Planes Locales de Adaptación de la Oficina Española de Cambio Climático<sup>15</sup>, en primer lugar, es posible la **utilización de modelos físicos que determinen los impactos potenciales** asociados a esas amenazas, generando cartografía de efecto isla de calor o inundaciones, por ejemplo. En segundo lugar, esa cartografía de impactos potenciales se puede cruzar con **datos socioeconómicos para la elaboración de análisis de vulnerabilidad y riesgo** para la ciudad en su conjunto también espacialmente explícitos. En tercer lugar, se cuantifica el **máximo despliegue potencial de soluciones naturales** y se calcula sus beneficios potenciales, como la mejora del confort térmico o la reducción de inundaciones, para lo cual se

utilizan el mismo tipo de modelos físicos con los que hemos analizado amenazas e impactos. En cuarto y último lugar, integrando la información espacial explícita de vulnerabilidad y riesgo con los potenciales beneficios de las soluciones naturales, se identifican **zonas prioritarias de actuación para la implementación de soluciones naturales**.

En la **micro-escala** o escala sub-urbana de barrio, tal y como se indicaba en la introducción de la guía, el análisis de efectividad puede apoyar a comparar **alternativas de diseño** urbano, así como **concretar y dimensionar** de forma específica las soluciones naturales a implementar en una zona concreta (plaza, calle, etc.). Este análisis a micro-escala puede aplicarse en zonas priorizadas o identificadas a través del análisis de meso-escala descrito anteriormente, o simplemente desarrollarse directamente en determinadas zonas o ámbitos de la ciudad por decisión del equipo local a cargo de la intervención urbana de la que se trate, según evidencias sobre problemáticas existentes o por otros

Con respecto a la metodología utilizada, tal y como se ha comentado en la introducción, es la aproximación cuantitativa la que se propone principalmente con 2 enfoques diferenciados: basada en **observaciones** o método empírico (estaciones de medida y sensores de variables ambientales e hidrológicas para temperaturas extremas y control de inundaciones; muestreo y analíticas para captura de carbono y biodiversidad); y basada en **modelización física** (para mapeo térmico o de inundaciones). Con

<sup>15</sup> Feliu E, García G, Gutiérrez L, Abajo B, Mendizabal M, Tapia C, Alonso A, 2015. Guía para la elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 100 pág.

respecto a **observaciones**, tenemos las mediciones in situ a través de muestreos de campo y sensorica que miden el estado actual de las variables ambientales y que sirven también para calibrar los modelos de simulación. Aunque los estudios que realizan mediciones in situ son necesarias para conocer tanto el estado actual como la efectividad de las medidas, éstas requieren importantes aportaciones de recursos y por tanto son difíciles de aplicar a meso-escala. La aproximación que se suele seguir a meso-escala es el de muestrear cada una de las tipologías y aplicar el resultado al resto de las unidades que están dentro de cada tipología.

La **modelización** a través de software tiene la ventaja de que requiere de menos recursos que las observaciones y por tanto es aplicable a meso- como a micro-escala. La modelización permite crear distintos escenarios de medidas, así como distintos escenarios de tipo de día (tanto días calurosos como de precipitación extrema) y obtener una estimación de la amenaza de temperaturas extremas y de inundaciones, así como de efectividad de las medidas. Ello permite comparar y seleccionar las que mejor se ajusten a los objetivos. Por una parte, existen los **modelos de clima urbano**, desarrollados para estudiar el microclima urbano utilizados para el cálculo de muchas variables climáticas, así como indicadores de confort. Por otra parte, tenemos modelos de inundaciones urbanas desarrollados para estudiar la conversión de lluvia en escorrentía y su efecto en las zonas urbanas (modelos hidrodinámicos de aguas superficiales con simulación subsuperficial hidráulica unida).

Por una parte, tenemos **modelos desarrollados por autores** que tratan de modelizar el flujo hidrológico o el clima urbano que difícilmente se encuentran disponibles para el público (como el modelo Floodscanner, CityCat<sup>16</sup>, UrbClim<sup>17</sup> u otros modelos empíricos y conceptuales) (Afizah bt Asman et al., 2015<sup>18</sup>; Carson et al., 2013<sup>19</sup>; Liu et al., 2017<sup>20</sup>; Stovin et al., 2013<sup>21</sup>).

Por el contrario, encontramos **modelos de uso público y disponibles** como el modelo de gestión de aguas pluviales de la EPA (SWMM)<sup>22</sup> o modelos que simulan la climatología urbana como por ejemplo Envi-Met<sup>23</sup>.

Por último, se identifican otros **modelos comerciales** como la familia MIKE<sup>24</sup> de DHI (Mike-She y Mike Urban), InfoWorks y Sobek<sup>25</sup>.

<sup>16</sup> CityCat <http://www.ncl.ac.uk/ceser/research/software/citycat/>

<sup>17</sup> UrbClim <https://www.urban-climate.be/c/urbclimDescription/>

<sup>18</sup> Afizah bt Asman N, Dullah S, Ayog J, 2015. The hydrological performance investigation of light weight green roofs made from natural fibres and recycle waste materials for storm water runoff mitigation: a review. Journal of Scientific Research and Development 2: 1-6

<sup>19</sup> Carson TB, Marasco DE, Culligan PJ, McGillis WR, 2013. Hydrological performance of extensive green roofs in New York City: observations and multi-year modeling of three full-scale systems. Environmental Research Letters 8: 024036

<sup>20</sup> Liu C, Li Y, Li J, 2017. Geographic information system-based assessment of mitigating flash-flood disaster from green roof systems. Computers Environment and Urban Systems 64, 321-331

<sup>21</sup> Stovin V, Poë S, Berretta C, 2013. A modelling study of long term green roof retention performance. Journal of Environmental Management 131: 206-215

<sup>22</sup> SWMM <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

<sup>23</sup> Envi-Met <https://www.envi-met.com/>

<sup>24</sup> MIKE <https://www.mikepoweredbydhi.com/products>

<sup>25</sup> Sobek <https://www.deltares.nl/en/software/sobek/>

## 1.3 Métodos y herramientas

### Recopilación de información

A continuación, se resume la información requerida para el análisis del estado actual del municipio que permite conocer el potencial de mitigación (captura de carbono) y adaptación (temperatura, inundaciones, biodiversidad) al cambio climático.

Tabla 1. Información requerida para el análisis del estado actual.

Estado actual en:	Información requerida	Descripción	Resolución temporal	Resolución espacial	Formato
Temperaturas extremas	Edificios	Se requiere los límites de cada uno de los edificios junto con la altura de los mismos	Se recomienda el uso de la información más actual	No aplica	Fichero txt (opcional capa GIS, shapefile)
	Cobertura del suelo	A cada elemento que forma la zona de estudio se le asigna el tipo de material	Se recomienda el uso de la información más actual	No aplica	Fichero txt (opcional capa GIS, shapefile)
	Vegetación	Se caracteriza la vegetación en función del diámetro, de la altura y del LAD (Leaf Area Density) de cada especie	Se recomienda el uso de la información más actual	No aplica	Fichero txt (opcional capa GIS, shapefile)
	Modelo del terreno	Información topográfica del terreno. Datos de altura con respecto al nivel medio del mar	Se recomienda el uso de la información más actual	Para la modelización a nivel de micro-escala se suele usar una resolución horizontal típica de entre 0.5 y 10m	Fichero txt (opcional capa GIS, raster)
	Condiciones atmosféricas	Se trata de las variables meteorológicas como viento, humedad, temperatura, cobertura nubosa entre otros.	Para la modelización a nivel de micro-escala se suelen usar periodos de tiempo típicos de 24 a 48 horas e intervalos de tiempo de 1-5 segundos	Se recomienda considerar toda la información disponible del área de estudio (estaciones meteorológicas) y la mayor resolución temporal posible.	Fichero txt
Inundaciones	Precipitación	Eventos de precipitación intensa para distintos periodos de retorno (la duración, intensidad y frecuencia de una lluvia). Normalmente la información disponible suelen ser datos históricos de una estación meteorológica. Lo ideal es contar con series históricas largas diezminutales (para el análisis de inundaciones pluviales) o diarias (para el análisis de inundaciones fluviales)	Para la evaluación de la inundación fluvial, se analiza la lluvia máxima diaria y para la inundación pluvial, se analizan lluvias más cortas (de entre 30 minutos hasta 3 horas)	En el caso de que se disponga de información de lluvias distribuidas espacialmente, se añade una capa de GIS (shapefile) con los polígonos y se referencia el fichero de lluvias que le corresponde	Fichero txt (opcional capa GIS, shapefile)

Estado actual en:	Información requerida	Descripción	Resolución temporal	Resolución espacial	Formato
Inundaciones	<b>Modelo digital del terreno (MDT)</b>	Información topográfica del terreno. Datos de altura con respecto al nivel medio del mar	Se recomienda el uso del MDT más actual ya que incorpora los últimos cambios realizados en el terreno y por consiguiente representa mejor el estado actual	Se recomienda que para un estudio a micro-escala se use una resolución de 1 metro y para un estudio de meso-escala una resolución de entre 2 y 5 metros (dependiendo de la extensión del área de estudio y la capacidad computacional del que se disponga)	Fichero raster
	<b>Edificios</b>	Ubicación de los edificios: se utiliza para excluir el área que ocupan los edificios en la modelización y por tanto el agua no puede discurrir por ese espacio. En caso de que exista un tejado verde en la azotea, esto se le especifica al modelo	Se recomienda el uso de la información más actual	No aplica	Fichero shapefile
	<b>Zonas verdes</b>	Ubicación de las zonas verdes. Se utiliza para después definir el coeficiente de fricción	Se recomienda el uso de la información más actual		Fichero shapefile
	<b>Tipo de suelo</b>	Se utiliza para después definir la capacidad de infiltración del terreno	Se recomienda el uso de la información más actual		Fichero shapefile
	<b>Red de drenaje urbana</b>	Se refiere a la información de la red de drenaje urbana: información sobre conductos, arquetas y sumideros	Se recomienda usar la información más actual posible		Suelen ser 3 ficheros: una de conductos, otra de arquetas y otra de sumideros

Estado actual en:	Información requerida	Descripción	Resolución temporal	Resolución espacial	Formato
Inundaciones	Condiciones de contorno	Las simulaciones se fuerzan según las condiciones de contorno definidas, que representan las entradas de agua adicionales a la lluvia en el modelo. Las fuentes externas de agua pueden forzar al nivel del agua en el límite del dominio a seguir una determinada condición (por ejemplo, nivel del agua del río o marea)	Depende de la resolución de los datos existentes. Hay que seleccionar los datos de mayor resolución de acorde a la resolución adoptada para la precipitación		Fichero txt
Captura de carbono	Superficies de zonas verdes	Extensión que ocupa el terreno con tierra y cada tipo de vegetación (herbácea, árboles, arbustos)	Se recomienda el uso de la información más actual	Cuanto mayor sea la resolución espacial de la caracterización, tanto mejor	Indiferente
	Propiedades del suelo	Se debería disponer de analíticas propias del suelo (carbono orgánico y densidad aparente -o en su defecto, textura)			
	Inventario de árboles y arbustos	Número de pies de cada especie			
	Propiedades de la vegetación herbácea, arbustiva y leñosa	Sería ideal disponer de datos propios de tasas de crecimiento y contenido en carbono			
Biodiversidad	Inventario de biodiversidad del municipio	Datos de riqueza y abundancia de comunidades vegetales (e.g., árboles, arbustos) y animales (e.g., fauna edáfica, aves). Presencia de especies amenazadas o hábitats de interés	Se recomienda usar la información más actual posible	No aplica	Indiferente
	Cartografía de clasificación de usos del suelo	Para poder medir la fragmentación del hábitat	Se recomienda usar la información más actual posible	Cuanto mayor sea la resolución espacial de la caracterización, tanto mejor	Compatible con SIG (shape, raster, etc.)

## ■ Análisis del estado actual

Se analiza el estado de las amenazas climáticas de (i) **temperatura e** (ii) **inundaciones**, (iii) el potencial de **secuestro de gases de efecto invernadero**, y (iv) el estado de conservación de la **biodiversidad**, mediante modelización y mediciones de campo. A continuación, se especifica la metodología seguida en cada ámbito de análisis:

Tabla 2. Metodología a seguir para cada ámbito de análisis.

Estado actual en:	Paso metodológico	Descripción	Aproximación	Comentario
Temperaturas extremas	<b>Elección de día representativo</b>	La simulación de la variable térmica tiene que realizarse bajo unas condiciones meteorológicas determinadas. Las condiciones meteorológicas deben ser representativas de la zona de estudio para que los resultados sean fiables para la toma de decisiones. Las condiciones atmosféricas a simular pueden variar dependiendo del objeto de estudio	Con el objetivo de analizar el beneficio y la efectividad de las soluciones naturales en términos de reducción de temperatura, se opta por simular condiciones meteorológicas de altas temperaturas y analizar la efectividad y la contribución de este tipo de soluciones ante escenarios extremos	
	<b>Modelización</b>	Se trata de introducir la información previa en un modelo de clima urbano que permita la modelización de la variable térmica	Los pasos a seguir son los siguientes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elección del modelo. Dependiendo de la escala a la que se quiera obtener la modelización (micro o meso) existen diferentes modelos</li> <li>• Preparación de la información requerida por el modelo en el formato que sea necesario.</li> <li>• Introducción de las condiciones meteorológicas necesarias de la zona</li> </ul>	Se calculará siempre un diseño base que se tomará como referencia para la evaluación de las Soluciones Naturales. En la comparativa de las diferentes alternativas de diseño con respecto al base se obtendrán las aportaciones de cada solución
	<b>Presentación de resultados</b>	Como resultados de la modelización se obtienen mapas de las siguientes variables térmicas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tª del aire</li> <li>• Temperatura media radiante (T<sub>mrt</sub>)</li> <li>• PET (Physiological Equivalent Temperature)</li> </ul>	La temperatura del aire permite identificar las zonas más o menos frías influenciadas por la superficie sobre la que se encuentra y la masa de aire. La temperatura media radiante, sin embargo, es un indicativo de la radiación que recibe un objeto, por lo que será significativamente menor en las zonas sombreadas, bien por edificios bien por árboles y vegetación. El PET sin embargo, se calcula teniendo en cuenta la Tª del aire y la T <sub>mrt</sub> , junto con la humedad relativa, la velocidad de viento y las características fisiológicas y la actividad metabólica de la persona	De acuerdo con la bibliográfica científica, la hora del día en la que se expresan mayoritariamente los resultados es entre las 13:00-15:00, que coincide, dependiendo de la zona geográfica, con la hora de máxima radiación solar

Estado actual en:	Paso metodológico	Descripción	Aproximación	Comentario
Inundaciones	Eventos de lluvia	Se suelen diseñar eventos de precipitación intensas para distintos periodos de retorno y distinta duración, partiendo de los datos históricos. También se analiza el efecto del cambio climático (CC), utilizando proyecciones de precipitación bajo diferentes RCPs (Trayectorias de Concentración Representativas)	El diseño de eventos de precipitación se suele hacer en varios pasos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realiza un análisis de extremos: se calculan valores anuales de la lluvia máxima acumulada en distintos intervalos de tiempo (como por ejemplo 5 minutos, 10 minutos, 1 hora, etc.)</li> <li>• Se crean curvas IDF (intensidad, duración y frecuencia) para distintos periodos de retorno partiendo de la información anterior</li> <li>• Se pueden crear hietogramas a partir de las curvas IDF. Son diagramas de barras que representan las variaciones de altura de precipitación pluvial (mm) o de su intensidad (mm/h) en intervalos de tiempo previamente seleccionados</li> </ul>	
	Modelización	Se trata de introducir la información previa en un modelo de simulación de inundaciones que permita obtener mapas de inundación	Los pasos a seguir se pueden resumir en: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elección del modelo de simulación de las inundaciones. Dependiendo del objeto de estudio existen modelos y metodologías específicas para el análisis de inundaciones fluviales, pluviales, de gestión de aguas pluviales y de inundación por subida del nivel del mar.</li> <li>• Se prepara la información requerida por el modelo en el formato que sea necesario.</li> <li>• Se utiliza la información del hietograma para forzar el modelo y obtener los mapas de inundación para distintos eventos de precipitación</li> </ul>	Es necesario modelizar diferentes periodos de retorno si queremos evaluar el diferente nivel de amenaza ya que un evento de lluvia con un período de retorno de n años tiene una probabilidad de 1 / n de ocurrir en un año dado. Es menos probable que sucedan las tormentas con mayor período de retorno, pero son de mayor magnitud, por lo que si ocurrieran, las inundaciones podrían ser más catastróficas. Se utilizan además diferentes duraciones de lluvia porque no está claro qué duración de la tormenta sería crítica para una situación dada. Los eventos de lluvia de menor duración suelen tener una mayor intensidad de lluvia, pero el volumen de lluvia total no es muy grande, mientras que los eventos de lluvia con mayor duración tienen mayores volúmenes de agua de lluvia

Estado actual en:	Paso metodológico	Descripción	Aproximación	Comentario
	<p><b>Presentación de resultados</b></p>	<p>Como resultado de la modelización se obtienen los mapas de inundación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapa de calado o profundidad de la lámina de agua</li> <li>• Mapa de velocidad de la lámina de agua</li> <li>• Mapa de peligrosidad para la población</li> </ul>	<p>La escorrentía generada por la precipitación se acumula en distintas zonas del área de estudio llegando a tener un mapa con datos de profundidad (calado).</p> <p>Además de analizar el calado, es importante saber la velocidad del agua ya que la combinación de ambas da información de la amenaza o impacto sobre las personas, edificaciones y vehículos (Wallingford, 2006)<sup>26</sup></p>	<p>Dependiendo de la profundidad, el agua acumulada en superficie puede llegar a causar problemas para la seguridad de la población y funcionamiento de la zona:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunas personas estarán en peligro con una altura del agua de 0.5 metros y una velocidad de la misma de 1m/s (Ramsbottom et al., 2003)<sup>27</sup>.</li> <li>• La diferencia de presiones que pueden llegar a resistir las paredes de un edificio de ladrillo son el equivalente a tener 1 metro de agua en el exterior.</li> <li>• En el caso de vehículos a motor pequeños y ligeros se convierte peligroso atravesar masas de agua que superen la profundidad de 0.5 metros por convertirse en objetos inestables</li> </ul>
<p><b>Captura de carbono</b></p>	<p><b>Determinación del contenido en carbono de los suelos</b></p>	<p>En caso de no disponer de ellas, se realizarán analíticas propias del suelo (carbono orgánico y densidad aparente -o en su defecto, textura)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestreo de suelos.</li> <li>• El carbono se determina mediante análisis elemental (LECO TruSpec CHN-S) según ISO 10694 (1995)<sup>28</sup>, restándole los carbonatos.</li> <li>• Tras estimar la granulometría por textura laser, se determinará la densidad aparente de cada suelo de acuerdo a las ecuaciones de pedotransferencia desarrolladas por NEIKER-Tecnalia a partir del análisis de muestras de la Red BASONET (Artetxe et al., 2014)<sup>29</sup>.</li> <li>• A posteriori, se determinará la cantidad de carbono a una profundidad determinada</li> </ul>	<p>Si se plantean diseños alternativos que todavía no existen, las mediciones se tendrán que hacer en entornos de similares características, con el fin de disponer de unos valores de referencia</p>

<sup>26</sup> HR Wallingford, Flood Hazard Research Centre, Risk & Policy Analysts Ltd., 2006. Flood Risks to People. Phase 2, FD2321/TR2 Guidance Document

<sup>27</sup> Ramsbottom D, Floyd P, Penning-Rowsell E, 2003. Flood Risk To People Phase 1. R&D Technical Report, FD2317

<sup>28</sup> ISO 10694, 1995. Soil quality - Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis)

<sup>29</sup> Artetxe A, del Hierro O, Pinto M, Gartzia N, Arias A, 2014. Sumideros de carbono de la comunidad autónoma del País Vasco. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz

Estado actual en:	Paso metodológico	Descripción	Aproximación	Comentario
	<b>Estimación de la fijación de carbono en la biomasa arbórea y arbustiva</b>	La estimación se puede hacer mediante calculadoras de absorciones de CO2	Se utilizan calculadoras que estiman la diferencia en la fijación de CO2 entre el estado actual y la alternativa de diseño propuesta	Las estimaciones de carbono fijado se han de considerar como una foto fija de la biomasa leñosa que se esperaría tener al cabo de 40 años en cada una de las alternativas de diseño estudiadas
	<b>Estimación de la fijación de carbono en la biomasa herbácea</b>	En ausencia de datos propios de contenido en carbono, se pueden utilizar los valores de referencia establecidos por el IPCC		
<b>Biodiversidad</b>	<b>Estimación de la diversidad vegetal</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• En ausencia de inventarios previos, para la cuantificación de la diversidad vegetal ya existente, se realizarán salidas al campo para identificar y cuantificar la diversidad presente.</li> <li>• A esta cuantificación se le añadirá la de aquellas Soluciones Naturales que se pretendan implementar.</li> <li>• A partir de esta información se podrán calcular índices de riqueza específica y de diversidad (Shannon)</li> </ul>	La diversidad vegetal habitualmente suele tener que ver de forma directa con la propia Solución Natural que se implementa
	<b>Estimación de la diversidad de aves</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• En ausencia de inventarios previos, se realizarán los muestreos a lo largo de un mismo periodo de tiempo y en condiciones similares (e.g., cinco transectos lineales de 10 minutos de duración cada uno, a primeras horas del día).</li> <li>• En cada transecto, se anotarán todas las aves observadas a lo largo del recorrido, así como las veces en que se haya observado cada ave</li> </ul>	Si se plantean diseños alternativos que todavía no existen, las mediciones se tendrán que hacer en entornos de similares características, con el fin de disponer de unos valores de referencia

Estado actual en:	Paso metodológico	Descripción	Aproximación	Comentario
	<p><b>Estimación de la diversidad de fauna edáfica</b></p>	<p>Es habitual clasificar a la fauna edáfica de acuerdo a su anchura corporal: (i) microorganismos o microflora: 1-100 <math>\mu\text{m}</math>, e.g. bacterias, hongos; (ii) microfauna: 5-120 <math>\mu\text{m}</math>, e.g. protozoos, nematodos; (iii) mesofauna: 80 <math>\mu\text{m}</math>-2 mm, e.g. colémbolos, ácaros; y (iv) macrofauna: 500 <math>\mu\text{m}</math>-50 mm, e.g. lombrices, termitas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La metodología de trabajo consistirá en la extracción de bloques cúbicos de suelo de 25 cm de lado y de profundidad.</li> <li>• En estos bloques se cuantificará la riqueza y abundancia de macrofauna, siguiendo la metodología desarrollada en las Tarjetas de Salud de Suelos diseñadas por NEIKER-Tecnalia (Mijangos et al., 2016)<sup>30</sup>.</li> <li>• Para la cuantificación de micro- y mesofauna se utilizará el método de extracción de Berlese-Tullgren.</li> <li>• Se extraerá el DNA de una submuestra de suelo y se cuantificará la riqueza y abundancia relativa de bacterias mediante la técnica de ARISA (Cardinale et al., 2004<sup>31</sup>; Welkie et al., 2010<sup>32</sup>).</li> <li>• Se calculará un índice de riqueza promedio a partir de los resultados de macrofauna, mesofauna y microorganismos</li> </ul>	<p>La fauna edáfica tiene un papel clave en la sostenibilidad funcional del ecosistema suelo. Si se plantean diseños alternativos que todavía no existen, las mediciones se tendrán que hacer en entornos de similares características, con el fin de disponer de unos valores de referencia</p>

<sup>30</sup> Mijangos I, Muguerza E, Garbisu C, Anza M, Epelde L, 2016. Health cards for the evaluation of the agricultural sustainability. Spanish Journal of Soil Science 6: 15-20

<sup>31</sup> Cardinale M, Brusetti L, Quatrini P, Borin S, Puglia AM, Rizzi A, et al., 2004. Comparison of different primer sets for use in automated ribosomal intergenic spacer analysis of complex bacterial communities. Applied and Environmental Microbiology 70: 6147-6156

<sup>32</sup> Welkie DG, Stevenson DM, Weimer PJ, 2010. ARISA analysis of ruminal bacterial community dynamics in lactating dairy cows during the feeding cycle. Anaerobe 16: 94-100

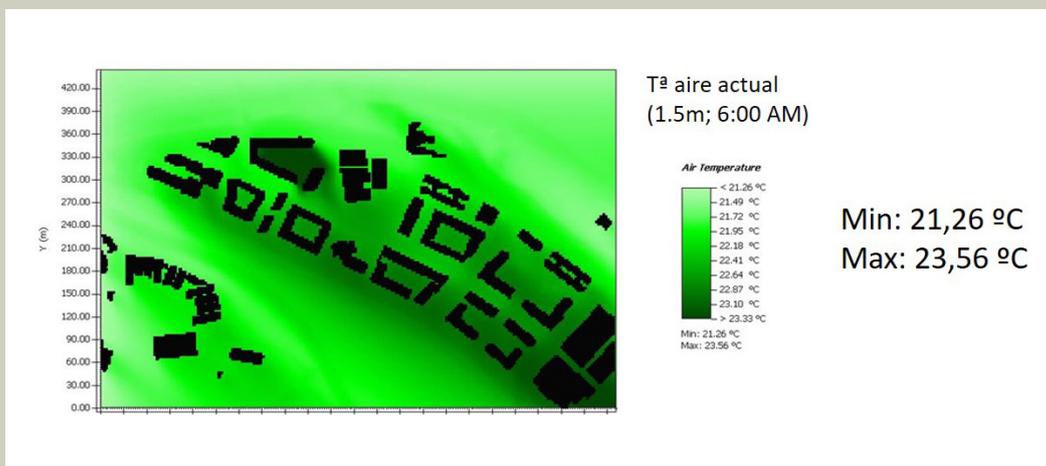
## 1.4 Ejemplo práctico

El caso de estudio que se va a emplear en esta guía es el barrio periférico del área “L.M.06 - TXOMIN ENEA” de Donostia-San Sebastián. Se encuentra enclavado en la vega del río Urumea, constituyendo de esta forma un espacio con unas posibilidades y un potencial paisajístico y ecológico de vital importancia para el futuro de la ciudad. El año 2017 se inició una transformación urbanística que partía de la necesidad de elevar la rasante general de la urbanización por encima de la cota +7, suficiente para evitar las recurrentes avenidas que sufre el barrio año tras año. Mediante este incremento de la rasante se delimitarán los ámbitos de una urbanización propiamente dicha y de un parque fluvial. Este parque fluvial se contempla como el gran espacio libre y verde del barrio, dotándole de una zona de gran interés paisajístico y natural para la población, y, al mantenerse a la cota actual, servirá además de llanura de inundación ante las periódicas avenidas. La zona de estudio comprende una superficie aproximada 17.5 ha, de los cuales el parque fluvial ocupa aproximadamente 3 ha.

A continuación se muestran los principales resultados del análisis del estado actual (con el proyecto de construcción tal y como está planteado) en los cuatro beneficios ambientales estudiados en Txomin Enea:

### Temperaturas extremas

Se presentan a continuación los resultados de la modelización térmica de la variable  $T^a$  del aire, de la situación actual en dos escenarios temporales: 06:00 AM y las 14:00PM. Ambos a 1.5m de altura, que es la considerada a la que se encuentran las personas.



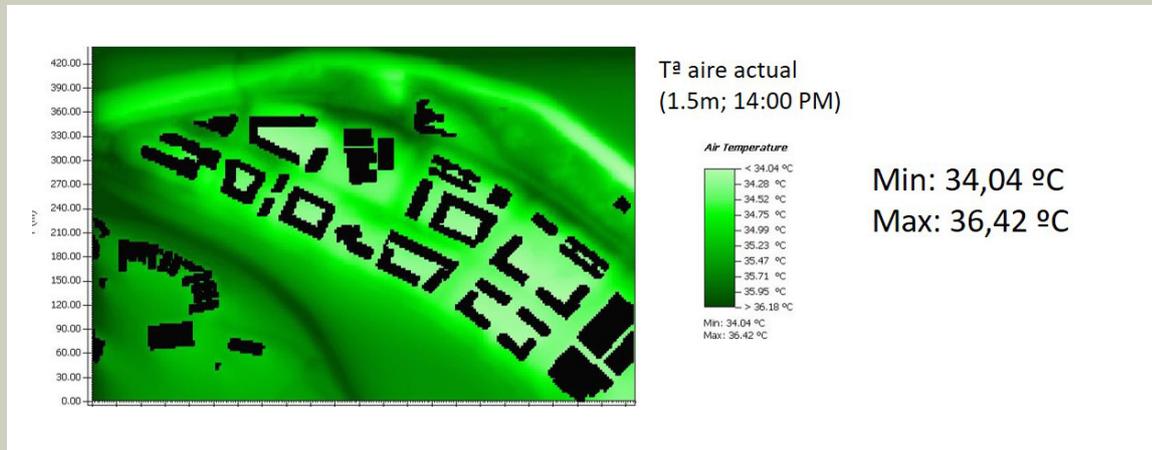


Figura 5. Representaciones cartográficas de la temperatura del aire.

La temperatura del aire permite identificar las zonas más o menos frías influenciadas por la superficie sobre la que se encuentra.

La hora del día en la que se expresan mayoritariamente los resultados es entre las 13:00-15:00, que coincide, dependiendo de la zona geográfica, con la hora de máxima radiación solar. En el caso que nos ocupa la radiación máxima se produce a las 14.00 PM.

Una variable que influye sobre la temperatura del aire es la intensidad y dirección del viento. A las 14.00 es de componente norte, entrando en la zona de estudio por el río Urumea. Sin embargo a las 6:00, es de componente sur.

Como se puede observar las temperaturas más cálidas se obtienen en las zonas protegidas del viento (interior de patios de los edificios y tras zonas de árboles) y las más frías las cercanas al río y desprotegidas del viento.



## Inundaciones

En las figuras siguientes se muestra el comportamiento de la escorrentía con respecto a la precipitación. Se muestra el calado máximo o profundidad de la lámina de agua en metros (salida del modelo), que se obtiene a través de la precipitación de diseño simulada (precipitación correspondiente a un periodo de retorno de 10 -PT10- y 25 años -PT25-).

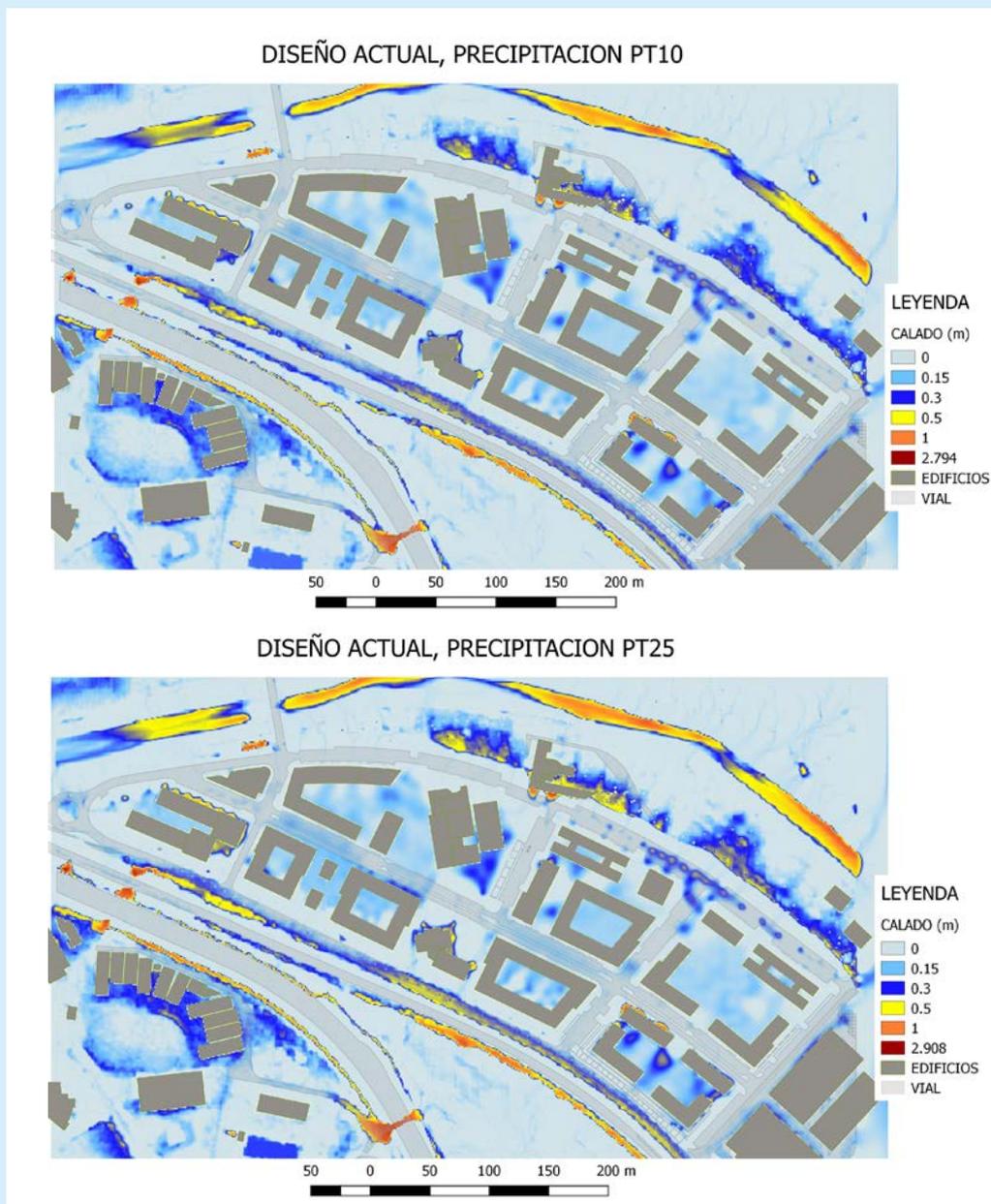


Figura 6. Representaciones cartográficas de la escorrentía con respecto a la precipitación para el diseño actual.

La escorrentía generada por la precipitación se acumula en distintas zonas del área de estudio llegando a tener una profundidad de entre 0.15 y 2.8 (PT10) 2.9 metros (PT25) lo que puede llegar a causar problemas para la seguridad de la población y funcionamiento de la zona. Las zonas más afectadas son las mismas para para ambas lluvias (carretera, aceras, algunos edificios y el parque fluvial), lo que varía es la profundidad del agua (incrementa hasta 10 centímetros en algunos puntos con lluvias más intensas, PT25).

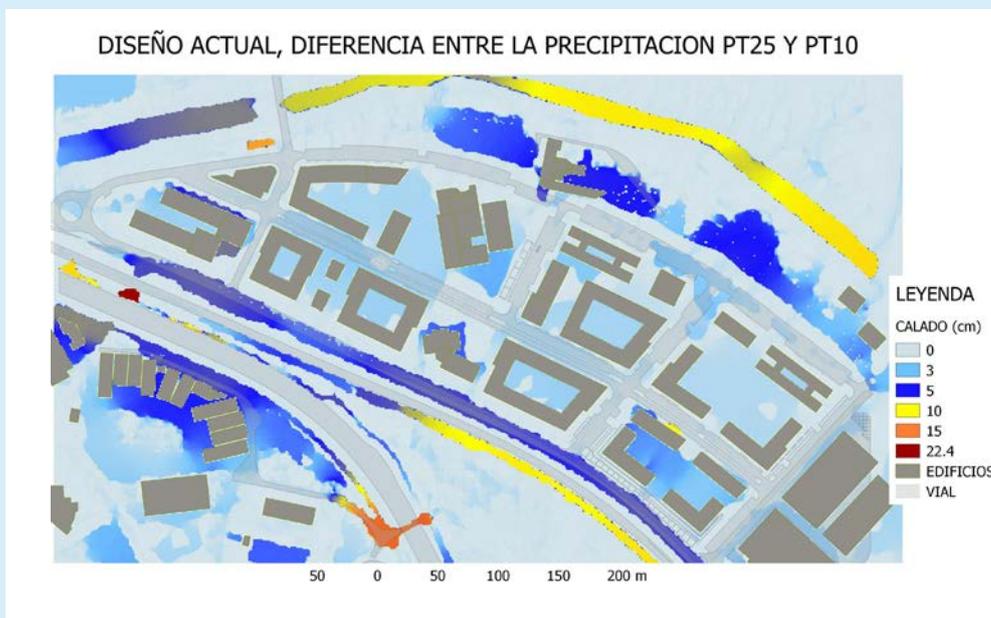


Figura 7. Representación cartográfica de la diferencia entre las precipitaciones PT25 y PT10 en escorrentía para el diseño actual.



## ■ Captura de carbono

Tal y como se puede observar en los resultados obtenidos, en el diseño de construcción actual de Txomin-Enea la captura de carbono ocurre principalmente en la zona de Parque Fluvial y es debida principalmente a las absorciones negativas atribuidas al suelo.

Tabla 3. Cuantificación de la captura de carbono (C) en el diseño actual.

	C (t)
<b>C en suelo</b>	<b>382.1</b>
<b>C en biomasa herbácea</b>	<b>3.9</b>
<b>C en biomasa leñosa</b>	<b>146.0</b>
<b>SUMA</b>	<b>531.9</b>

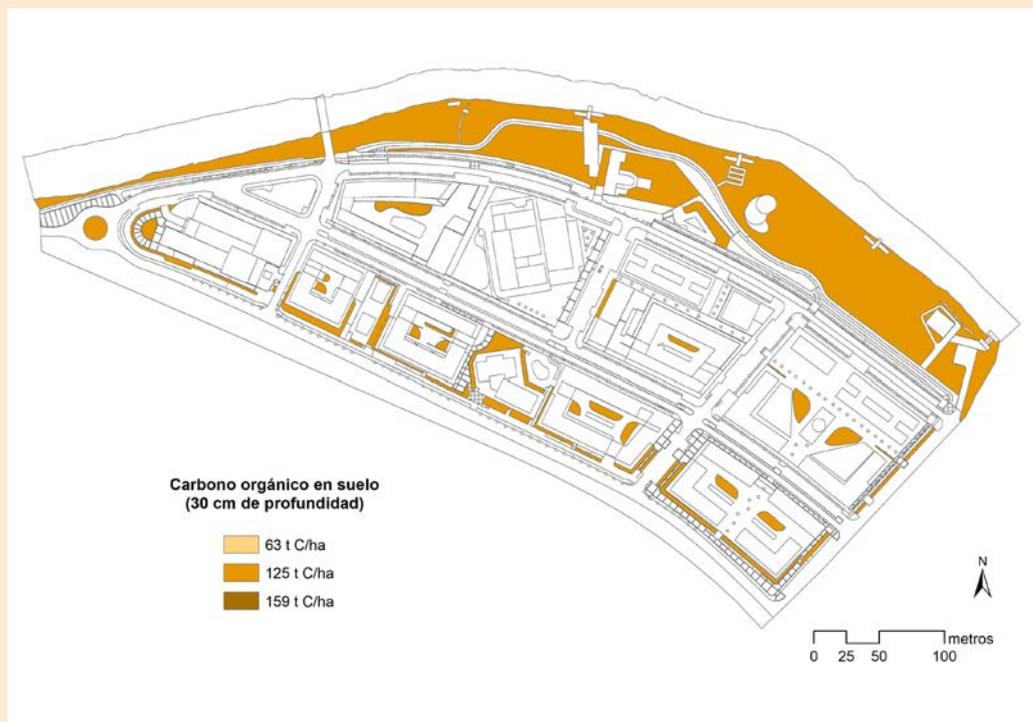


Figura 8. Representación cartográfica de la captura de carbono en suelo para el diseño actual.



Figura 9. Representación cartográfica de la captura de carbono en biomasa vegetal para el diseño actual.

## Biodiversidad

Los índices de diversidad arbórea son menores en la urbanización en comparación con el parque fluvial. Además, muchas las especies planteadas en el proyecto de construcción para la urbanización son ornamentales introducidas y no originarias de Europa. El parque fluvial destaca por la alta presencia de especies propias de estos ambientes que le confieren un aspecto más naturalizado, como son: *Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*, *Salix spp.* y *Ulmus glabra*, entre otras.

Tabla 4 Cuantificación de la diversidad arbórea en el diseño actual.

	Parque Fluvial	Urbanización
<b>RIQUEZA</b>	<b>27</b>	<b>20</b>
<b>DIVERSIDAD Shannon</b>	<b>3.42</b>	<b>3.28</b>
<b>NÚMERO TOTAL DE PIES</b>	<b>398</b>	<b>412</b>



Figura 10. Representación gráfica de la diversidad vegetal para el diseño actual.

Respecto a la diversidad de fauna edáfica, se ha estimado que el índice de riqueza obtenido a partir de los resultados de macrofauna, mesofauna y microorganismos es superior en las manchas de tierra de la urbanización que en el parque fluvial.

Tabla 5. Cuantificación de la superficie correspondiente a cada índice de riqueza de biodiversidad de fauna edáfica (m<sup>2</sup>) en las distintas alternativas de diseño.

Índice = 14	0
Índice = 33	0
Índice = 44	24009
Índice = 50	6459
<b>VALOR CUANTITATIVO</b>	<b>1076490</b>



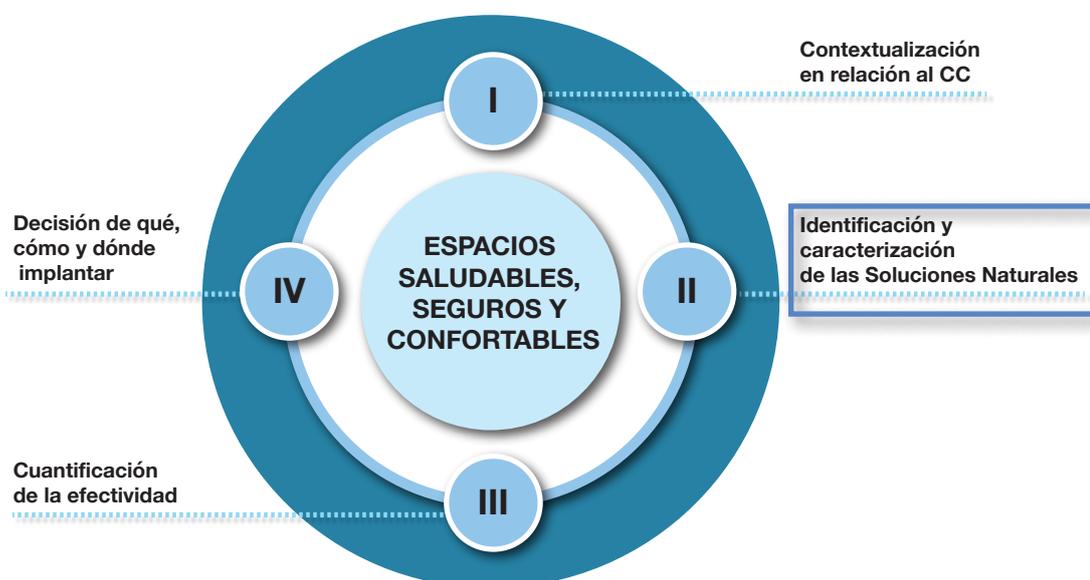
Figura 11. Representación cartográfica de la diversidad de fauna edáfica para el diseño actual.

# 2

## Fase II: Identificación y caracterización de las Soluciones Naturales

### 2.1 Descripción de la fase y objetivos clave

El objetivo de esta fase es la identificación y caracterización de las Soluciones Naturales para la generación de las diversas alternativas de diseño, potencialmente a través de un proceso de co-creación con la participación de los agentes que configuran el grupo de trabajo (Ver Fase I, Paso 1.1).



Como ya se ha mencionado en la introducción, en el contexto internacional se percibe una clara apuesta por las Soluciones Naturales (Soluciones Basadas en la Naturaleza, por sus siglas en inglés). La definición de Soluciones Naturales adoptada en esta guía, y en línea con la propuesta en la guía de Soluciones naturales para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco<sup>33</sup>, hace referencia a intervenciones urbanas que utilizan la naturaleza —y sus servicios y funciones— para mitigar el cambio climático y reducir los impactos derivados de la misma, favoreciendo la adaptación de los municipios y la ciudadanía a los impactos.

<sup>33</sup> Gutiérrez L, García G, García I, Gea A, Lopez A, 2017. 'Soluciones Naturales' para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco. IHOBE, Bilbao

Si bien no existe una definición única de lo que se consideran Soluciones Naturales, la Comisión Europea publicó en 2014 el informe «Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities» (Hacia una agenda política de investigación e innovación europea para las soluciones naturales y la renaturalización de las ciudades) elaborado por un grupo de expertos en el que se acuña el término de Soluciones Basadas en la Naturaleza (por sus siglas en inglés *Nature Based Solutions*). En dicho informe éstas se definen como aquellas intervenciones que:

- **Se inspiran en la naturaleza**, y utilizan las características y procesos de sus sistemas complejos, tales como su capacidad para almacenar carbono y regular el flujo de agua, por ejemplo,
- Tienen como fin ayudar a las sociedades a abordar los **desafíos ambientales, sociales y económicos** a los que han de enfrentarse, de forma sostenible, como son la reducción del riesgo de efectos derivados de episodios extremos, la mejora del bienestar humano y el crecimiento verde socialmente inclusivo.

El informe refuerza, además, la idea de que la implementación de estas soluciones ha de ser, en todo caso, energéticamente eficiente y viable en términos económicos y de consumo de recursos en general, y siempre adaptadas a las condiciones locales del entorno urbano en el que se ubiquen<sup>34</sup>.

Soluciones Naturales, en el contexto de la presente guía, hace referencia a intervenciones a micro-escala de infraestructuras verdes

y azules, como pueden ser las cubiertas o fachadas vegetales o el incremento de la vegetación en los patios; también se consideran intervenciones a meso-escala, como por ejemplo cuerpos de agua o vegetación en el espacio público, conectadas con parques y áreas naturales de los municipios.

Las Soluciones Naturales se caracterizan por su multifuncionalidad, es decir, por tener la vocación de proporcionar múltiples beneficios que pueden ir mucho más allá del alcance y objetivo de adaptación al cambio climático para el que han sido diseñadas originalmente y ofrecer varios beneficios colaterales en términos de calidad ambiental, salud humana y bienestar, capacidad de regeneración urbana, mejora de las condiciones de habitabilidad, etc.

Entre los beneficios ambientales que ofrecen las Soluciones Naturales, es crucial el aumento de la biodiversidad vegetal y animal. Es sabido que la biodiversidad sustenta la prestación de todos los servicios ecosistémicos (Millennium Ecosystem Assessment, 2005<sup>35</sup>). Con una mayor redundancia de especies y de los servicios que estas cumplen, existe un mayor “seguro” de que un ecosistema pueda seguir funcionando a pesar de enfrentarse a distintas perturbaciones. Una de las perturbaciones más alarmantes es el cambio climático. En este sentido, la vegetación y los suelos de entornos urbanos cumplen papeles tan cruciales como la absorción de calor, controlando el efecto isla de calor, y la absorción del agua de lluvia, evitando inundaciones tras episodios fuertes de lluvia (Bardgett, 2016)<sup>36</sup>. Por lo tanto, el papel de las Soluciones Naturales en las zonas urbanas o periurbanas es crucial en la adaptación al cambio climático.

<sup>34</sup> Extraído del informe: Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities. Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on ‘Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities’

<sup>35</sup> Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC

<sup>36</sup> Bardgett, RD, Bowman WD, Kaufmann R, Schmidt SK, 2005. A temporal approach to linking aboveground and belowground ecology. Trends in Ecology and Evolution 20: 634-641

Por otro lado, en relación a la mitigación del cambio climático, incluso un pequeño incremento en el almacenamiento de carbono en los suelos es importante para contribuir al objetivo a largo plazo de limitar el incremento de la temperatura media global a un máximo de 2°C. De hecho, los ecosistemas terrestres acumulan en estos momentos cuatro veces más carbono que la atmósfera. La implementación de Soluciones

Naturales tiene efectos positivos sobre las reservas de carbono y sobre el equilibrio de los gases de efecto invernadero.

Adicionalmente, las Soluciones Naturales ayudan a los municipios a mejorar la sostenibilidad y la resiliencia aportando múltiples co-beneficios como los incluidos en la siguiente tabla.

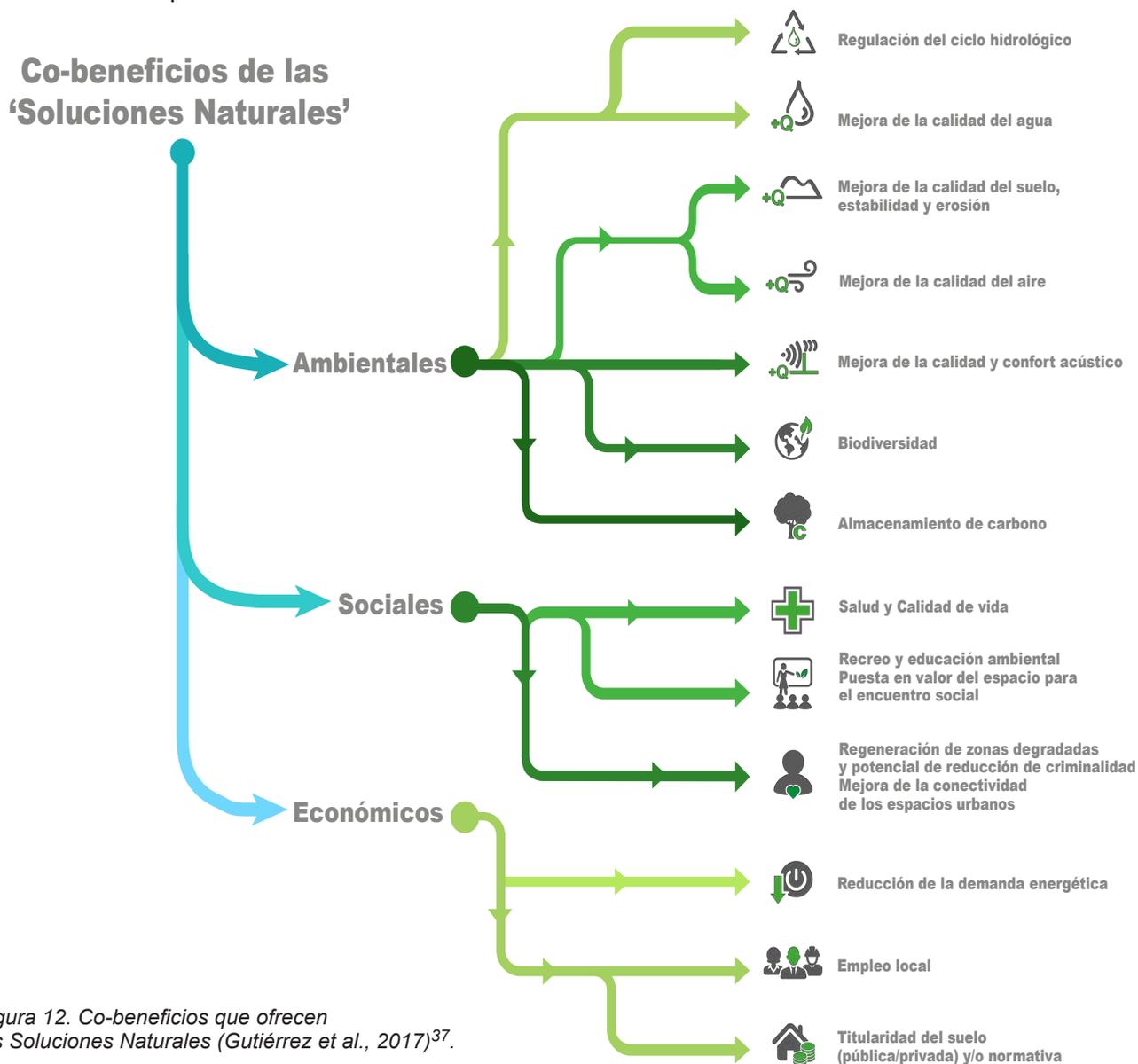


Figura 12. Co-beneficios que ofrecen las Soluciones Naturales (Gutiérrez et al., 2017)<sup>37</sup>.

<sup>37</sup> Gutiérrez L, García G, García I, Gea A, Lopez A, 2017. 'Soluciones Naturales' para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco. IHOBE, Bilbao

## 2.2 Pasos a seguir

El objetivo de esta fase es la identificación y caracterización de las Soluciones Naturales para la generación de las diversas alternativas de diseño, potencialmente a través de un proceso de co-creación con la participación de los agentes que configuran el grupo de trabajo (Ver Fase I, Paso I).

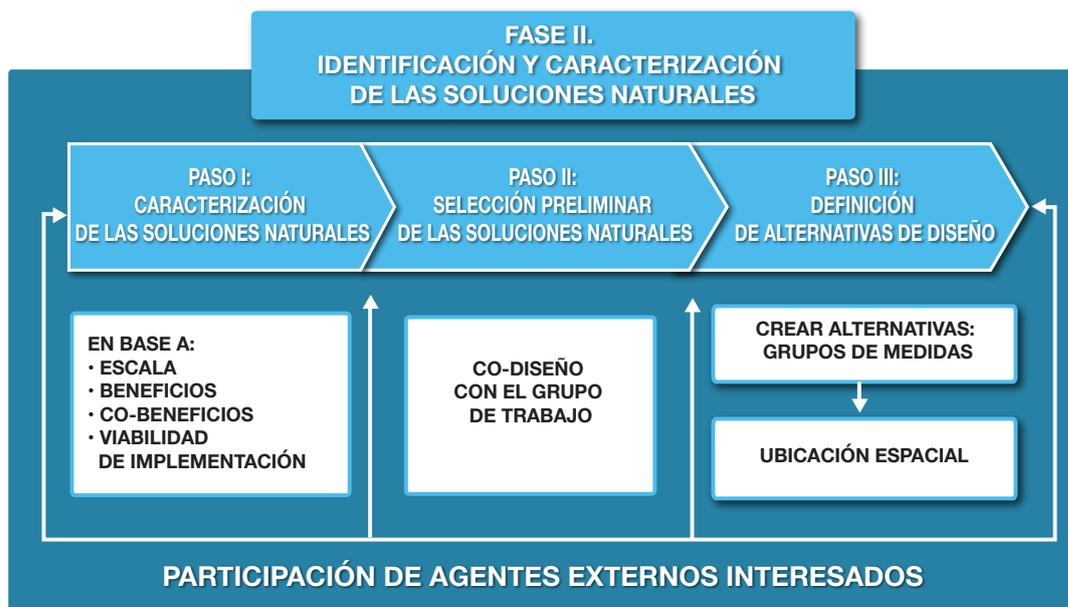


Figura 13. Pasos a seguir en la Fase II.

### **Paso I: Caracterización de las Soluciones preseleccionadas**

Como punto de partida existen diversas fuentes de información (como por ejemplo páginas webs o bases de datos) que sirven para extraer un listado preliminar de Soluciones Naturales existentes. La caracterización se realiza de acuerdo a **criterios de escala, beneficios y co-beneficios, así como de viabilidad de implementación**. En la literatura existen diversas clasificaciones e información sobre caracterización que sirven para realizar este paso las cuales se detallan en el punto 2.3. Métodos y herramientas.

### **Paso II: Selección preliminar de las Soluciones Naturales que se quieren evaluar**

Se puede realizar en un proceso de **co-diseño**, es decir, a través de reuniones del grupo de trabajo se pueden debatir e identificar las posibles alternativas de Soluciones Naturales que mejor se ajusten a la zona de estudio dependiendo de la caracterización previa realizada.

### **Paso III: Definición de alternativas de diseño**

En este tercer paso se definen las **alternativas de diseño** a través de la agrupación de las Soluciones Naturales y su ubicación espacial, para facilitar su posterior análisis. La **agrupación** de las soluciones se puede realizar partiendo de los criterios utilizados en la caracterización y criterios adicionales identificados por el grupo de trabajo, como por ejemplo, el potencial de implementación, la efectividad de la solución en relación a la mitigación y la adaptación al cambio climático, la aceptación social, etc.

En caso de que se tengan varios criterios para la agrupación de las medidas, como se explica en el apartado siguiente, se puede utilizar la **aproximación multicriterio** para priorizar y seleccionar aquellos factores que se utilizarán para la definición de alternativas.

Por último, se identifican las zonas en las que hay potencial de implementar las Soluciones Naturales. Para la **espacialización** de las alternativas se recomienda el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como por ejemplo Qgis o ArcGis.



## 2.3 Métodos y herramientas

### Selección preliminar de las Soluciones Naturales

A continuación, se listan algunas de las fuentes de las que se pueden obtener listados de Soluciones Naturales:

- Existe una página web dedicada a medidas verdes y azules (*urban green blue grids*, de su término en inglés) que sirve de inspiración, además de que se despliega un listado de medidas por temática (agua, calor, biodiversidad etc.)<sup>38</sup>. La web está inspirada en un libro titulado “Urban green-blue grids for sustainable and dynamic cities” que muestra los principios de la planificación urbana sostenible. En el libro se presentan alrededor de cuarenta ejemplos de proyectos ejecutados a nivel internacional, lo que demuestra la viabilidad de estas medidas.
- En línea con el libro anterior hay varias iniciativas que recopilan **casos de estudio** en las que se han implementado las Soluciones Naturales:
  - DG-Clima (de la Comisión Europea)<sup>39</sup>. La Plataforma OPPLA es un nuevo mercado de conocimiento; un lugar donde se unen las últimas ideas sobre los servicios de los ecosistemas, el capital natural y las soluciones basadas en la naturaleza. Muchas ciudades y regiones europeas han emprendido acciones inspiradas por las Soluciones Naturales para abordar una serie de desafíos sociales a través de la provisión de servicios ecosistémicos clave. Esta recopilación de casos de estudios se ha realizado a partir de información públicamente disponible y verificada por las administraciones de la ciudad.
  - La plataforma ThinkNature <sup>40</sup> es una comunidad dedicada a la comprensión y promoción de Soluciones Naturales. Promueven el intercambio de conocimientos y la comunicación entre distintos agentes interesados.
- Si bien hay muchos ejemplos de soluciones basadas en la naturaleza para abordar una gama de diferentes situaciones, es difícil encontrar ejemplos donde se cuantifiquen los **beneficios económicos, sociales y ambientales**. En esta línea encontramos algunos ejemplos:
  - En el marco del proyecto europeo RESIN (H2020), Tecnalia y Siemens han desarrollado una librería con medidas de adaptación en las que se pueden filtrar las medidas clasificadas como medidas basadas en ecosistemas (“ecosystem based adaptation” en su término en inglés) y obtener información de efectividad y coste-beneficio<sup>41</sup>.
  - En la agenda de I + D de la UE sobre Soluciones Naturales el grupo de expertos en “Soluciones basadas en la naturaleza y ciudades reforestadoras” elabora un documento en el que muestran ejemplo de Soluciones Naturales con una evaluación cuantitativa de los beneficios que aportan<sup>42</sup>.

<sup>38</sup> Urban green blue grids <http://www.urbangreenbluegrids.com/>

<sup>39</sup> OPPLA <https://oppla.eu/>

<sup>40</sup> Think Nature <https://www.think-nature.eu/>

<sup>41</sup> RESIN <http://www.resin-cities.eu/resources/tools/adaptation-options-library/>

<sup>42</sup> European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, 2015. Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: final report of the Horizon 2020 expert group on ‘Nature-based solutions and re-naturing cities’. Publications Office of the European Union, Luxembourg

## ■ Caracterización de las Soluciones

Las Soluciones Naturales se pueden **clasificar** y **caracterizar** de diversas maneras. Una posible aproximación es la sugerida por Gutiérrez et al. (2017)<sup>43</sup>, en función de:

### 1. Su **escala** o ámbito de intervención:

- Edificio. Actuaciones en azoteas, fachadas y espacios comunes de los edificios.
- Espacio público. Actuaciones en espacios estanciales, parques urbanos y otros elementos urbanos del espacio público.
- Masas de agua y sistemas de drenaje.
- Infraestructuras lineales de transporte. Actuaciones de naturalización de infraestructuras tanto de alta capacidad (carreteras, ferrocarril, etc.) como de tráfico blando.
- Espacios naturales y gestión del suelo rural. Actuaciones de conservación y restauración de ecosistemas naturales y gestión del suelo rural.
- Litoral/costa.

### 2. Las **amenazas climáticas** a las que responden las medidas, es decir, su efectividad potencial para hacer frente a diversos retos climáticos.

### 3. Los **co-beneficios** que proveen las Soluciones Naturales, desde las perspectivas ambiental, social y económica.

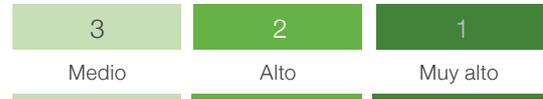
### 4. Los criterios que condicionan la **viabilidad** para su implementación: necesidades de inversión inicial, costes de mantenimiento, y posibles limitaciones de implementación como pueden ser la titularidad del suelo y la propiedad y normativa urbanística aplicable.

<sup>43</sup> Gutiérrez L, García G, García I, Gea A, Lopez A, 2017. 'Soluciones Naturales' para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco. IHOBE, Bilbao

Tabla 6. Clasificación de Soluciones Naturales. Resumen obtenido de Gutiérrez et al. (2017).

En las tablas siguientes se caracterizan cada una de las Soluciones Naturales, en función de los criterios anteriormente descritos.

identificadas en el País Vasco. La intensidad de esta contribución se muestra en una escala:



La tabla muestra cómo contribuye cada Solución Natural a reducir los efectos de las amenazas climáticas

AMENAZAS CLIMÁTICAS							
<b>EDIFICIO</b>							
Azoteas naturales	1	1			3	2	
Fachadas verdes, jardines verticales	2				3	2	
Naturalización de espacios de uso comunitario	2				3	1	3
<b>INTERVENCIONES EN ESPACIO PÚBLICO</b>							
Mobiliario urbano verde	3					2	
Pavimentos permeables	1	2	2		3	3	
Plazas confortables	1	3			3	1	
Micro-climas de agua						1	
Huertos urbanos	1	2			2	1	3
Parques y bosques urbanos	1	2	3		2	1	3
Renaturalización de solares y espacios de oportunidad	1	2	3		2	1	3
<b>INTERVENCIONES MASA DE AGUA Y SISTEMAS DE DRENAJE</b>							
Sistemas de drenaje urbano sostenible	1	1	1		2		
Estanques y lagos	1	2	3		1	2	
Renaturalización de ríos y arroyos	1	1	3		1	2	
Llanuras de inundación	1	1	1				
<b>INTERVENCIONES EN INFRAESTRUCTURAS LINEALES DE TRANSPORTE</b>							
Naturalización de calles	2	3			3	1	
Infraestructuras lineales verdes	2	3			3	1	
<b>INTERVENCIONES EN ESPACIOS NATURALES Y GESTION DEL SUELO RURAL</b>							
Espacios naturales protegidos	1	1		1	2	2	1
Humedales	1	1			2	2	
Parques periurbanos	1	2			2	2	3
Gestión del suelo rural	1	2			1	2	1
<b>INTERVENCIONES EN COSTA</b>							
Soluciones Naturales frente al avance de la línea de costa		2	1	1			

CO-BENEFICIOS  
AMBIENTALES



EDIFICIO

Azoteas naturales



Fachadas verdes, jardines  
verticales



Naturalización de espacios  
de uso comunitario



INTERVENCIONES  
EN ESPACIO PÚBLICO

Mobiliario urbano verde



Pavimentos permeables



Plazas confortables



Micro-climas de agua



Huertos urbanos



Parques y bosques urbanos



Renaturalización de solares  
y espacios de oportunidad



INTERVENCIONES MASA DE  
AGUA Y SISTEMAS DE DRENAJE

Sistemas de drenaje  
urbano sostenible



Estanques y lagos



Renaturalización de ríos y arroyos



Llanuras de inundación



INTERVENCIONES  
EN INFRAESTRUCTURAS  
LINEALES DE TRANSPORTE

Naturalización de calles



Infraestructuras lineales verdes



INTERVENCIONES EN ESPACIOS  
NATURALES Y GESTION DEL  
SUELO RURAL

Espacios naturales protegidos



Humedales



Parques periurbanos



Gestión del suelo rural



INTERVENCIONES EN COSTA  
*Soluciones Naturales* frente  
al avance de la línea de costa



CO-BENEFICIOS SOCIALES			
<b>EDIFICIO</b>			
Azoteas naturales	●	●	
Fachadas verdes, jardines verticales		●	
Naturalización de espacios de uso comunitario	●	●	
<b>INTERVENCIONES EN ESPACIO PÚBLICO</b>			
Mobiliario urbano verde		—	●
Pavimentos permeables			
Plazas confortables	●		●
Micro-climas de agua	●	●	●
Huertos urbanos	●	●	●
Parques y bosques urbanos	●	●	●
Renaturalización de solares y espacios de oportunidad	●	●	●
<b>INTERVENCIONES MASA DE AGUA Y SISTEMAS DE DRENAJE</b>			
Sistemas de drenaje urbano sostenible	●		●
Estanques y lagos		●	●
Renaturalización de ríos y arroyos	●	●	●
Llanuras de inundación		●	●
<b>INTERVENCIONES EN INFRAESTRUCTURAS LINEALES DE TRANSPORTE</b>			
Naturalización de calles	●	●	●
Infraestructuras lineales verdes			
<b>INTERVENCIONES EN ESPACIOS NATURALES Y GESTION DEL SUELO RURAL</b>			
Espacios naturales protegidos	●	●	●
Humedales		●	●
Parques periurbanos	●	●	●
Gestión del suelo rural		●	●
<b>INTERVENCIONES EN COSTA</b>			
Soluciones Naturales frente al avance de la línea de costa		●	●

CO-BENEFICIOS  
ECONÓMICOS



CO-BENEFICIOS ECONÓMICOS			
<b>EDIFICIO</b>			
Azoteas naturales	●		●
Fachadas verdes, jardines verticales	●	●	●
Naturalización de espacios de uso comunitario			●
<b>INTERVENCIONES EN ESPACIO PÚBLICO</b>			
Mobiliario urbano verde			●
Pavimentos permeables	●		●
Plazas confortables			●
Micro-climas de agua			●
Huertos urbanos		●	●
Parques y bosques urbanos			●
Renaturalización de solares y espacios de oportunidad		●	●
<b>INTERVENCIONES MASA DE AGUA Y SISTEMAS DE DRENAJE</b>			
Sistemas de drenaje urbano sostenible	●		
Estanques y lagos			●
Renaturalización de ríos y arroyos			
Llanuras de inundación			●
<b>INTERVENCIONES EN INFRAESTRUCTURAS LINEALES DE TRANSPORTE</b>			
Naturalización de calles			●
Infraestructuras lineales verdes			●
<b>INTERVENCIONES EN ESPACIOS NATURALES Y GESTION DEL SUELO RURAL</b>			
Espacios naturales protegidos		●	●
Humedales			●
Parques periurbanos		●	●
Gestión del suelo rural		●	●
<b>INTERVENCIONES EN COSTA</b>			
Soluciones Naturales frente al avance de la línea de costa		●	●

## Definición de alternativas de diseño

Podemos diferenciar dos tipos de **métodos** y herramientas en este paso:

**1. Análisis de multicriterio** para la priorización de criterios a utilizar en la definición de alternativas.

El multicriterio es una aproximación capaz de abordar problemas de decisión complejas, considerando múltiples objetivos y criterios, procesando diversos tipos de información, tanto objetivos (efectividad de las Soluciones Naturales) como subjetivos (preferencias de los agentes), e integrando todo en el proceso de toma de decisiones de una manera sistemática y constructiva.

Como primer paso, se definen los **objetivos** que debe cumplir cada alternativa. Segundo, en una **matriz** en el que se incluyen las alternativas, el objetivo de cada una y los criterios a utilizar para agrupar las medidas (cada objetivo estará apoyado por uno o varios criterios) se realiza un

ejercicio sencillo que consiste marcar o seleccionar las medidas que cumplan con el objetivo establecido. Este ejercicio se puede sofisticar dando una puntuación en vez de marcando o seleccionando.

**2. Identificación de las áreas urbanas** en la que hay potencial para implementar las Soluciones Naturales.

Es importante identificar los **requerimientos de implementación** de cada Solución Natural y analizar qué áreas urbanas cumplen con los requerimientos, y por tanto pueden albergar alguna de las soluciones planteadas.

Para ello se propone identificar las zonas de actuación, las Soluciones Naturales que se pueden implementar, los condicionantes y la cartografía existente que pueda servir de punto de partida para ubicar las soluciones y **diseñar espacialmente las alternativas**. A modo de ejemplo presentamos una propuesta de ficha con el que se puede empezar a trabajar:

Zona/Ámbito de implementación	Medidas más idóneas	Criterio o condicionante	Cartografía
Como por ejemplo: Plazas Parques Calle peatonal Edificios ...	Como por ejemplo: 1. Reverdecimiento (hierba, plantas pequeñas y árboles y mobiliario) 2. Pavimento permeable 3. Jardines de lluvia 4. Bioretención 5. Plazas de lluvia o flotantes 6. Fuentes 7....	Como por ejemplo: “En caso de que haya parking abajo, solo se aplicaría algunos casos de 1 (sin arbolado espeso) y 5” O “en los tejados con una pendiente mayor de 25%“	Como por ejemplo: cartografía de suelo urbano - plazas

Existe una secuencia de trabajo definida por Gutiérrez et al. (2017)<sup>44</sup>, para la consideración de Soluciones Naturales en el planeamiento urbanístico, lo que permite el mapeo de cada una de las Soluciones Naturales identificadas en las zonas o ámbitos de implementación del municipio. En esta secuencia de trabajo se analizan las Soluciones Naturales disponibles y potenciales.

<sup>44</sup> Gutiérrez L, García G, García I, Gea A, Lopez A, 2017. ‘Soluciones Naturales’ para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco. IHOBE, Bilbao

## 2.4 Ejemplo práctico

En Txomin Enea se han diseñado dos alternativas de diseño además del “actual” ya establecido en los proyectos de construcción del área “L.M.06 – TXOMIN ENEA”. La alternativa de diseño “factible” se ha consensuado con técnicos del ayuntamiento de Donostia/San Sebastián, e incluye actuaciones que se considera se podrían llegar a implantar en el desarrollo de las obras a llevar a cabo en la zona. En cambio, en la alternativa de diseño “ideal” se han planteado actuaciones en términos de Soluciones Naturales de forma más acentuada, con el doble objetivo de validar la metodología de cuantificación empleada y conocer hasta qué punto se podría llegar a mejorar la provisión de los beneficios estudiados.

Tabla 7. Planteamientos de las alternativas de diseño factible e ideal para el caso de estudio de Txomin Enea.

	Factible	Ideal (además de las ya estipuladas en el factible)
	Aumentar la plantación de especies leñosas en 199 unidades, rellenando los huecos que había en las hileras de árboles plantados en el diseño actual, plantando más en los parques ya existentes y buscando promover la conectividad ecológica entre el parque fluvial y la urbanización.	Aumentar la plantación de especies leñosas en 116 unidades más.
	Instalar tejados verdes extensivos en edificios públicos ya existentes e intensivos de 30 cm en edificios públicos de futura construcción, con una altura de césped de 20 cm.	Instalar tejados verdes extensivos en los edificios privados ya existentes e intensivos en edificios privados de futura construcción, con una altura de césped de 20 cm.
	Instalar pavimentos permeables en la mediana de la calle central, en el bidegorri y en el camino del parque fluvial.	Instalar pavimentos permeables en todas las aceras y medianas de la zona urbanizada.
	Poner huertos urbanos en los patios interiores de la zona actualmente ocupada por la cárcel de Martutene.	
	Poner suelo con vegetación herbácea en patios de manzana de uso público.	Cambiar las superficies de patios de la urbanización por suelo con vegetación herbácea.
	Instalación de siete fuentes de 1 m de altura.	
		Instalar parkings de hierba con baldosas protectoras en la calle limítrofe con el Parque Fluvial.

A continuación se muestran las alternativas de diseño planteadas en Txomin Enea, junto con el diseño actual:

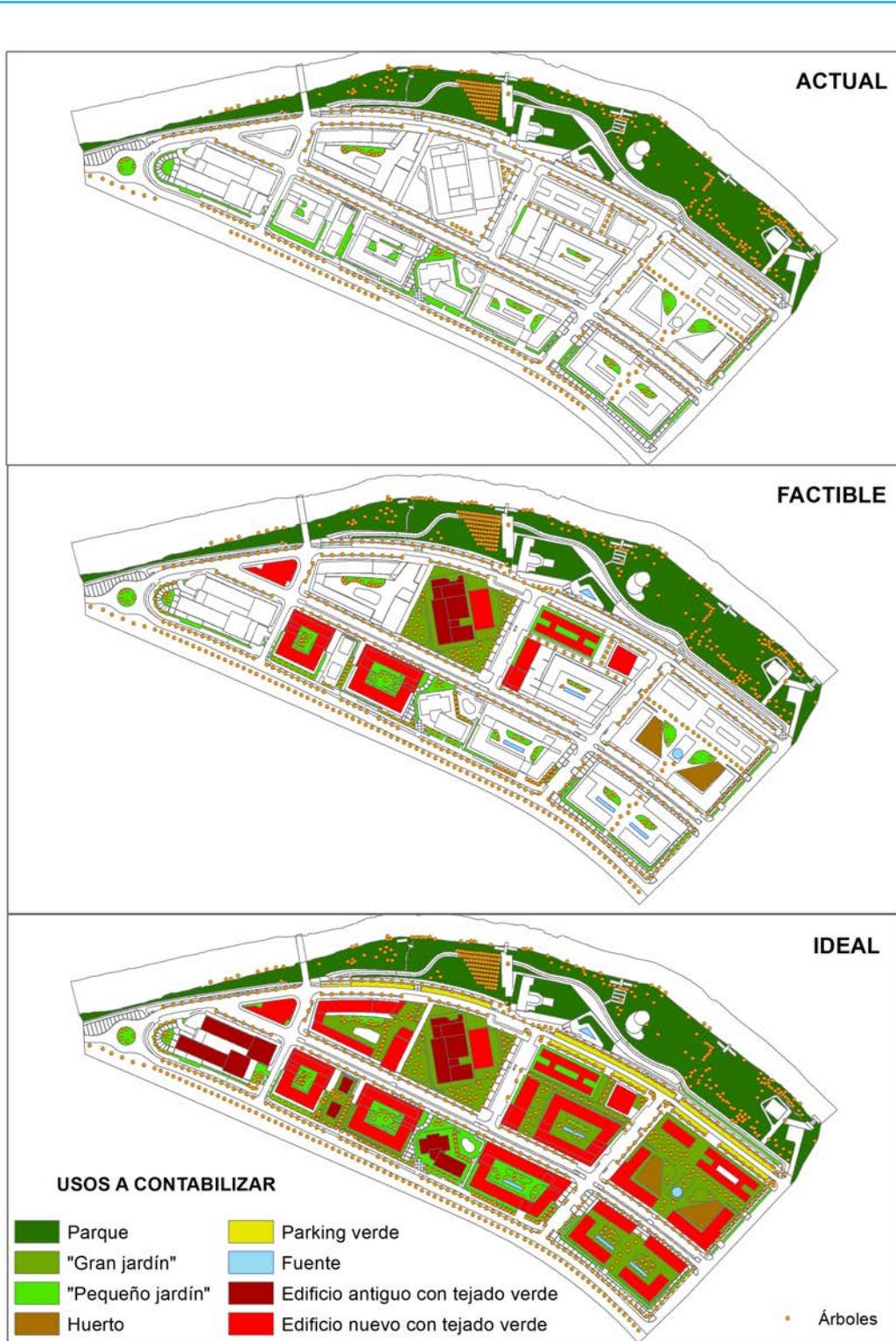


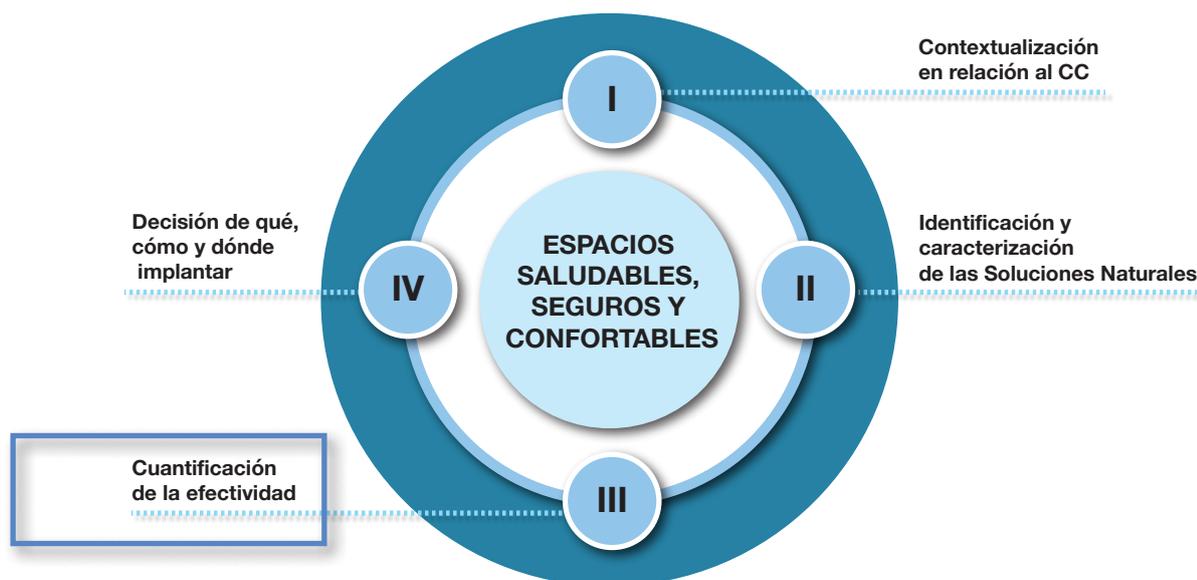
Figura 14. Alternativas de diseño planteadas en Txomin Enea.

# 3

## Fase III: Cuantificación de la efectividad de las Soluciones Naturales

### 3.1 Descripción de la fase y objetivos clave

Si bien hay estudios que manifiestan múltiples beneficios de las Soluciones Naturales, en la mayoría de los casos, estos beneficios no son **cuantificados** y se indican únicamente de forma **cualitativa** (Brooks and International Institute for Environment and Development, 2013<sup>45</sup>). A pesar de la evidente falta de evaluaciones cuantitativas de efectividad, se reconoce que, no obstante, son necesarias de cara al diseño de una hoja de ruta para la adaptación (o *adaptation pathway*, en inglés; ASC, 2011<sup>46</sup>). Por tanto, tanto la valoración **cualitativa** como la **cuantitativa** son de suma importancia de cara a promover una adaptación incremental del municipio.



La **efectividad** se vincula con términos similares como “rendimiento” y “éxito”. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático UNFCCC (2010)<sup>47</sup> señala que evaluar la efectividad implica dos cosas: primero, lograr los objetivos y metas definidos; y segundo, ¿puede esto atribuirse a la medida tomada? La efectividad en este contexto se refiere a si una opción de adaptación tiene una influencia identificable en el logro de los objetivos establecidos.

<sup>45</sup> Brooks N, 2013. An operational framework for tracking adaptation and measuring development. International Institute for Environment and Development

<sup>46</sup> Adaptation Sub-committee (ASC), 2011. Adapting to climate change in the UK: measuring progress. Adaptation Sub-committee of the Committee on Climate Change, London

<sup>47</sup> UNFCCC, 2010. Synthesis report on efforts undertaken to monitor and evaluate the implementation of adaptation projects, policies and programmes and the costs and effectiveness of completed projects, policies and programmes, and views on lessons learned, good practices, gaps and needs (No. FCCC/SBSTA/2010/). United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn

La tarea de **medir cuantitativamente** indicadores basados en resultados como la efectividad de las medidas de adaptación es desafiante (UNFCCC 2010a<sup>48</sup>, 2010b<sup>49</sup>; Stadelmann et al., 2014<sup>50</sup>), debido a la falta de una metodología operacional y estandarizada. Algunas de las razones clave que contribuyen a la **falta de armonización** de la efectividad están relacionadas con la influencia de las condiciones locales, alternativas de diseño estudiadas y la naturaleza multidimensional de las medidas de adaptación. En el caso específico de las Soluciones Naturales, la falta de formas sistemáticas de medir la eficacia ha creado incertidumbre con respecto a la utilidad de estas medidas y ha impedido generar preguntas claras para que los investigadores y profesionales las aborden (Doswald et al., 2014<sup>51</sup>). Por lo tanto, es importante desarrollar conocimiento y conciencia en materia de análisis cuantitativo de la efectividad de la mitigación/adaptación al cambio climático y la conservación de la biodiversidad.

El reto de esta guía es establecer una **metodología común** que consiga la **cuantificación de la efectividad** de las Soluciones Naturales en **cuatro variables ambientales** (reducción de temperaturas extremas e inundaciones, captura de carbono e incremento de la biodiversidad) y a **diferentes escalas** (micro-escala, o escala de barrio y a meso-escala, o a escala ciudad). Asimismo, se persigue establecer **pautas** para promover la adaptación al cambio climático desde el planeamiento urbanístico **a diferentes escalas y evaluación de alternativas** de diseño en los procesos de planeamiento urbanístico (IHOBE, 2012<sup>52</sup>; Red Española de Ciudades por el Clima, 2015<sup>53</sup>).

<sup>48</sup> UNFCCC, 2010a. Synthesis report on efforts undertaken to monitor and evaluate the implementation of adaptation projects, policies and programmes and the costs and effectiveness of completed projects, policies and programmes, and views on lessons learned, good practices, gaps and needs (FCCC/SBSTA/2010). United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn

<sup>49</sup> UNFCCC, 2010b. Potential costs and benefits of adaptation options: A review of existing literature (FCCC/TP/2009/2/Rev.1). United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn

<sup>50</sup> Stadelmann M, Michaelowa A, Butzengeiger-Geyer S, Köhler M, 2014. Universal Metrics to Compare the Effectiveness of Climate Change Adaptation Projects; in Handbook of Climate Change Adaptation; ed. Filho WL. Springer, Berlin, Heidelberg, 1-15 pp.

<sup>51</sup> Doswald N, Munroe R, Roe D, Giuliani A, Castelli I, Stephens J, Möller I, Spencer T, Vira B, Reid H, 2014. Effectiveness of ecosystem-based approaches for adaptation: review of the evidence-base. *Climate and Development* 6: 185-201

<sup>52</sup> IHOBE, 2012. Plan Vasco de Lucha contra el Cambio Climático 2008-2012

<sup>53</sup> Red Española de Ciudades por el Clima, 2015. Medidas para la mitigación y la adaptación al cambio climático en el planeamiento urbano. Guía metodológica, Federación Española de Municipios y Provincias. ed.

## 3.2 Pasos a seguir

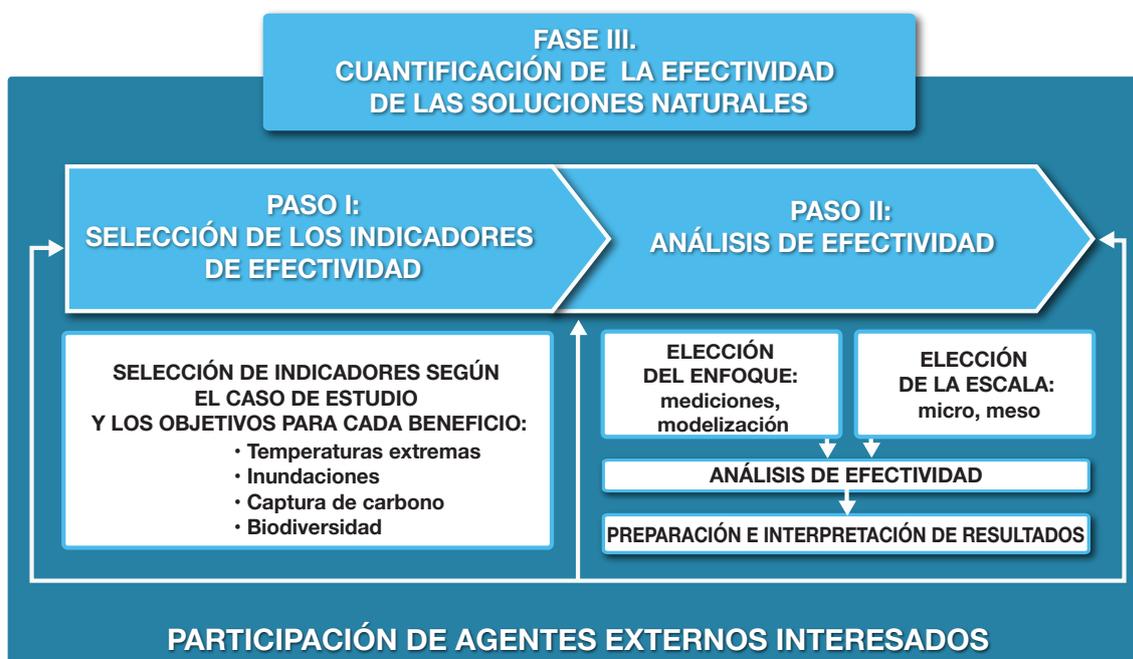


Figura 15. Pasos a seguir en la Fase 3.

### PASO I: Selección de los indicadores de efectividad

Existen distintos **indicadores** que nos dan información sobre los beneficios que aportan las Soluciones Naturales. Éstas son aplicables tanto a meso- como micro-escala, aunque se identifica alguna más para meso-escala en el caso de biodiversidad.

Por ejemplo, para los estudios de **clima urbano** (temperaturas extremas y olas de calor), la **temperatura del aire** es uno de los parámetros más comunes; pero para estudios del efecto de la temperatura en la salud, son más comunes los índices de **confort térmico** (como la temperatura equivalente fisiológica -PET-,

el índice climático térmico universal -UTCI-, la temperatura equivalente -ET-, el voto medio previsto -PMV-, entre otros). Según la literatura, el PET y la temperatura del aire parecen ser los más usados (Mendizabal et al., 2017<sup>54</sup>). De todas formas, la utilidad de cada indicador depende de las circunstancias del caso de estudio y de los objetivos.

Para los estudios de **inundaciones**, también existen diferentes indicadores que miden la efectividad en la reducción de las inundaciones pluviales o fluviales. Dependiendo de la Solución Natural podemos ver indicadores como la reducción en el caudal máximo de un río y el área inundada, o la cantidad de agua retenida por la solución, etc. El indicador más utilizado

<sup>54</sup> Mendizabal M, Carreño S, Gutiérrez L, Carter J, Seyedmahmoudian M, Connelly A, Rovers V, van Lier M, Schellekens E, Markanday A, 2017. Standard performance values adaptation options. D3.4. This document has been prepared in the framework of the European project RESIN – Climate Resilient Cities and Infrastructures

en la literatura es la **reducción de escorrentía**, seguido de la **reducción del caudal pico** y la **retención de agua de lluvia**. Las mediciones son relativamente similares en los diversos artículos revisados.

La **captura de carbono** se mide en **toneladas de carbono orgánico**, para lo cual se requiere determinar, para una profundidad determinada (generalmente, 30 cm), el contenido de carbono orgánico en suelo, así como la densidad aparente. La FAO reconoce que no existe un método estandarizado para medir el C orgánico total del suelo, pero recomienda la combustión seca frente al más extendido y más barato método de Walkley y Black, porque el segundo requiere aplicar factores de corrección para las oxidaciones incompletas (FAO, 2017)<sup>55</sup>. Por otro lado, la densidad aparente se suele determinar tomando cilindros inalterados de suelo, lo cual puede resultar laborioso y, por eso, es frecuente estimarla partiendo de la textura y del contenido de carbono orgánico.

En cuanto a la **biodiversidad**, algunas de las métricas clásicas que pueden ser utilizadas como indicadores son la **riqueza de especies** y el **índice de Shannon**. Este último refleja la heterogeneidad de una comunidad, teniendo en cuenta tanto el número de especies presentes como su abundancia relativa.

A **meso escala**, la cuantificación de la presencia de **corredores ecológicos** es un aspecto primordial.

En hábitats tan fragmentados como los urbanos, los corredores pueden facilitar el movimiento de los organismos con peores capacidades de dispersión (Vergnes et al., 2013)<sup>56</sup>. Las Soluciones Naturales diseñadas podrían ayudar a disminuir esta fragmentación. Hay varios programas que calculan indicadores de fragmentación o conectividad, y que se detallan a continuación.

### **PASO II: Análisis de la efectividad mediante modelización y mediciones de campo**

Como ya se ha comentado en la introducción y en la FASE 1, se identifican **dos enfoques** principales para realizar un análisis de efectividad en la literatura: **estudios empíricos** basados en la observación a través de mediciones de campo y sensorica (Armson et al., 2012<sup>57</sup>); y **modelización física** a través de software (Liu et al., 2014<sup>58</sup>). Ambos enfoques son aplicados por diferentes autores tanto a micro-escala como a meso-escala (Lin et al., 2015<sup>59</sup>; Tan et al., 2016<sup>60</sup>). La aplicabilidad de los **estudios empíricos** en el contexto urbano es limitada, ya que requiere importantes aportaciones de recursos, pero a veces es la única opción. Por contra, la **modelización física** ofrece una solución

<sup>55</sup> FAO, 2017. Soil Organic Carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy

<sup>56</sup> Vergnes A, Kerbiriou C, Clergeau P, 2013. Ecological corridors also operate in an urban matrix: A test case with garden shrews. Urban Ecosystems 16: 511-525

<sup>57</sup> Armson D, Stringer P, Ennos AR, 2012. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. Urban Forestry & Urban Greening 11: 245-255

<sup>58</sup> Liu WT, 2014. The application of resilience assessment—resilience of what, to what, with what? A case study based on Caledon, Ontario, Canada. Ecology and Society 19: 21

<sup>59</sup> Lin W, Yu T, Chang X, Wu W, Zhang Y, 2015. Calculating cooling extents of green parks using remote sensing: Method and test. Landscape and Urban Planning 134: 66-75

<sup>60</sup> Tan Z, Lau KKL, Ng E, 2016. Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. Energy and Buildings 114: 265-274

aceptable y económica en comparación a las mediciones in situ, y por tanto puede ser una aproximación útil para la comparación de las diferentes alternativas de adaptación (Abajo et al., 2015<sup>61</sup>).

Como ejemplo, en el caso del análisis de efectividad para reducir inundaciones, nos encontramos con un 53% de los estudios que han realizado modelización, y con un 33% que han realizado mediciones de campo.

Otra de las cuestiones importantes que hay que tener en cuenta a la hora de analizar la efectividad es la **escala de análisis**. En la literatura encontramos dos escalas: la micro- y meso-escala.

La mayoría de los estudios de efectividad revisados realizan el análisis a una **escala micro**: a una escala de edificio o de parcelas experimentales. Se han encontrado unos pocos estudios que realicen el análisis a **escala distrito o barrio y ciudad**. En concreto, el 64% de la bibliografía revisada evalúa la efectividad de los tejados verdes. Es de entre las Soluciones Naturales la medida más analizada en la literatura; por lo tanto, se dispone de más información relativa a la metodología y la efectividad en sí. Además de tejados verdes, se han encontrado estudios de pavimentos permeables (10%), gestión de usos de suelo (cambios en permeabilidad; 5%),

parques (5%), árboles (3%) y combinación de infraestructuras verdes (13%).

Dependiendo del **enfoque** y de la **escala** seleccionadas para el caso de estudio, se procede a la evaluación de la efectividad, para el cual existen metodologías ya definidas (para mayor detalle, ver el apartado de métodos y herramientas). La efectividad se cuantifica a través de la comparación del estado actual con la alternativa de diseño.

Por último, incidir en que cada ámbito o variable de análisis tiene unos **factores clave** de incidencia en la efectividad de las soluciones naturales que se consideren. Éstas se detallarán en el siguiente apartado de métodos y herramientas (3.3). Por ejemplo, la amenaza de **temperaturas extremas** e isla de calor se ve afectada por el clima local, el tipo de día analizado, configuración urbana (que a su vez afecta en los patrones de ventilación), así como las alternativas analizadas (albedo de las superficies y tipo de vegetación). En el caso de **inundaciones pluviales**, los factores clave son región climática en que se encuentra el municipio, tipo de lluvia y las Soluciones Naturales analizadas (que inciden en la permeabilidad del suelo, capacidad de absorción y retención de escorrentía de superficies). Estos factores deben ser tenidos en cuenta en la cuantificación de la efectividad.

<sup>61</sup> Abajo B, García-Blanco G, Gutierrez L, Martínez JA, Mendizabal M, Nassopoulos H, Ehret, 2015. Adaptation Approaches. Characterizing, assessing and prioritizing towards implementation, in: State of the Art Report (5). European project RESIN – Climate Resilient Cities and Infrastructures, European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement no. 653522

## 3.3 Métodos y herramientas

### ■ Aspectos a considerar antes de la evaluación de la efectividad

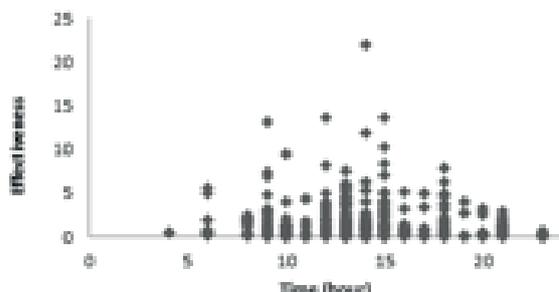
#### ● Temperaturas extremas

Los **factores clave** que pueden llegar a tener un efecto en la evaluación de la efectividad en este ámbito son: localización del estudio (región climática en que se encuentra), estación del año, franja horaria y altura en la que se mide la efectividad, así como las alternativas analizadas.

Tabla 8. Factores clave que afectan en la evaluación de la efectividad de la variable temperatura extrema.

FACTOR	CÓMO AFECTA EL FACTOR EN LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD
<p><b>1. Soluciones Naturales</b></p>	<p>Dependiendo de la Solución Natural, la efectividad varía.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Infraestructuras verdes:</b> si bien la plantación de árboles perennes puede funcionar bien con respecto al comportamiento del viento en una ciudad, los árboles caducifolios pueden ofrecer protección natural contra la radiación solar y, al mismo tiempo, proporcionar un rango aceptable de acceso solar cuando se requiera en otra ciudad. Por ejemplo, el arbolado es más efectivo que el césped durante los calurosos días de verano porque proporciona mayor sombra (Mendizabal et al., 2016).</li> <li>• <b>Pavimento permeable y riego del pavimento:</b> El pavimento de asfalto u hormigón absorbe más calor del sol que otros tipos de suelo, provocando que la temperatura de la superficie aumente. Por lo tanto, reducir la temperatura de la superficie del pavimento ayudará a reducir la temperatura urbana, creando un espacio urbano más cómodo.</li> </ul> <p>El riego de pavimentados y la retención del agua en pavimentos permeables o porosos ayudan a disminuir la temperatura superficial. Gracias a estas medidas, la temperatura de la superficie puede llegar a reducirse entre 10 y 30°C (Kinouchi, 1998). Además de tener un efecto en la temperatura de la superficie también se traslada su efecto a la temperatura del aire, llegando a reducirlo 1.2°C (Hendel, 2015; Hendel et al., 2015).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cuerpos de agua:</b> reemplazar un pavimento duro con superficie de agua puede reducir el PET. Aunque una superficie de agua más grande no da como resultado una mejora adicional, ya que su influencia no se extiende más allá del entorno inmediato. Ocurre algo parecido como lo observado para las medidas verdes. Por lo tanto, es preferible tener varios cuerpos de agua dispersas en el espacio más que tener un cuerpo de agua grande y situada en un único lugar</li> </ul>
<p><b>2. Zona climática</b></p>	<p>La zona climática a la que pertenece el caso de estudio es un efecto a tener en cuenta, dado que cada región climática cuenta con unas características meteorológicas de T<sup>3</sup>, humedad relativa e intensidad de viento diferente. El efecto térmico positivo de la vegetación depende del clima local y de la estación del año, así como la hora de medición entre otras cosas. Por lo tanto, la efectividad de diferentes tipos de árboles no será la misma en diferentes regiones climáticas. La estación del año y las condiciones meteorológicas en que se evalúa la medida también son aspectos importantes a considerar en términos de efectividad. Por ejemplo, la vegetación es más efectiva con temperaturas más altas y los árboles proporcionan la mayor sombra durante los calurosos días de verano (Mendizabal et al., 2016)</p>
<p><b>3. Localización del estudio</b></p>	<p>La localización en la que se ha analizado la efectividad influye en la efectividad de forma semejante a como lo hace la zona climática, aunque se añaden más factores como la configuración urbana que afectan a la efectividad (pasillos de ventilación, sombreado de la edificación, etc.). La localización exacta es necesaria para determinar las condiciones</p>

FACTOR	CÓMO AFECTA EL FACTOR EN LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD
<b>4. Escala</b>	<p>La micro-escala es una escala de análisis conveniente cuando se quiere analizar el confort térmico del peatón. La escala más común suele ser la escala de barrio (entre 1 y 2 kilómetros) y la escala de manzana y calles (calles de tipo cañón; menos de 100 metros).</p> <p>La meso-escala se refiere a todo el municipio, aquella que permita evaluar los beneficios en conjunto. El mallado que se suele utilizar en esta escala varía desde regional (desde 100 a 200 kilómetros) hasta ciudad (desde 10 a 20 kilómetros) utilizando una resolución espacial moderada (de unos 100 metros) (Lobaccaro et al., 2016). La efectividad a esta escala suele verse diluida por el efecto de otros factores y porque la efectividad de las soluciones es local y disminuye según nos alejamos de ella</p>
<b>5. Tipo de medición de la efectividad</b>	<p>La efectividad puede variar debido a la metodología y herramientas utilizadas para su evaluación. La medición a través de sensórica o la simulación pueden llegar a dar distinta efectividad. por ello se recomienda calibrar los modelos con mediciones in situ (sensórica), aunque esto no siempre sea posible</p>
<b>6. Software utilizado</b>	<p>Existen diferentes tipos de software según la escala de modelado escogida (micro escala - meso escala) que pueden dar resultados ligeramente distintos</p>
<b>7. Altura de la medición</b>	<p>Se refiere a la altura en el que se mide o se simula la efectividad de una medida. Dependiendo de la altura de medición, la efectividad de la solución varía. La elección de la altura debe de responder al objetivo del estudio. Lo más recurrente son 1.5m para analizar los beneficios para la población, que es la altura a la se asume se encuentran los peatones.</p>
<b>8. Estación del año</b>	<p>Como ya se ha mencionado, la estación del año (junto con las condiciones meteorológicas) en que se evalúa la medida es un aspecto importante a considerar en términos de efectividad.</p>
<b>9. Alternativa</b>	<p>Se refiere al grupo de medidas analizadas. Dependiendo de la alternativa que se analiza la efectividad es distinta. De la comparativa entre el estado actual y la alternativa se obtiene la efectividad y por tanto ambos estados inciden en el resultado.</p>

FACTOR	CÓMO AFECTA EL FACTOR EN LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD
<p><b>10. Franja horaria</b></p>	<p>La franja horaria que más se utiliza en la literatura para el cálculo de la efectividad es de 13:00 a 15:00 CET (el 48% de los datos revisados en los artículos), que es cuando la temperatura diaria llega a su máximo y cuando el efecto de enfriamiento alcanza también su máximo. De todas formas, dependiendo del objetivo de adaptación, se podría plantear el analizar la efectividad en diferentes franjas horarias (por ejemplo, si el objetivo es evitar la alteración del sueño, se tiene que elegir la franja horaria nocturna) (Eliasson, 1996).</p>  <p>Efectividad de acuerdo al horario. Cada punto representa la efectividad de la medida en un caso de estudio concreto.</p>
<p><b>11. Indicador para medir la efectividad</b></p>	<p>Las variables térmicas con las que se puede expresar la efectividad de las Soluciones Naturales son diversas. La temperatura del aire es la más utilizada en la bibliografía científica, aunque son varios los autores que evidencian la conveniencia de utilizar la temperatura media radiante (Tmrt) por tener influencia que la temperatura ambiente y en el confort ambiental que perciben las personas (Chatzidimitriou y Yannas, 2016) argumentan que es un parámetro más sensible, que la temperatura del aire, a los efectos de sombreado de la vegetación u otros elementos (Bowler et al., 2010).</p> <p>La categoría más recurrente en la literatura es la reducción de la temperatura del aire (45.8% de los trabajos evalúan esta variable). Tmrt (mean radiant temperature) y la temperatura de la superficie están presentes en un porcentaje menor en los estudios (14.5% y 9.5% de los documentos respectivamente), pero están siendo cada vez más comunes. En relación con los indicadores de confort, el PET (physiological equivalent temperature) es utilizado por una gran variedad de artículos (7% de los documentos).</p>

## ● Inundabilidad

Los factores clave que pueden llegar a tener un efecto en la evaluación de la efectividad son: localización del estudio (región climática en que se encuentra), tipo de precipitación analizada, la comparativa de alternativas realizada, etc.

Tabla 9. Factores clave que afectan en la evaluación de la efectividad de la variable inundaciones.

FACTOR	CÓMO AFECTA EL FACTOR EN LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD
<b>1. Soluciones Naturales</b>	<p>Dependiendo de la Solución Natural la efectividad varía: El tipo de vegetación juega un papel importante en la efectividad: los tejados verdes tienen una efectividad alta en la retención de agua de lluvia (una media de 41%) y por tanto reducen ligeramente el caudal pico (dependiendo del área total de los tejados) y retrasan también el pico (18 minutos). El arbolado tiene una efectividad mayor para reducir la escorrentía que para interceptar lluvia (que depende del tipo de cubierta vegetal y de la intensidad de la lluvia; a mayor intensidad, su capacidad de interceptar agua es menor). La combinación de césped y árboles da muy buenos resultados en la reducción de la inundabilidad (gracias a su permeabilidad y capacidad de retención).</p> <p>Algunos de los estudios demuestran que la efectividad de un tejado verde vegetado y otro con suelo desnudo pueden llegar a tener una efectividad parecida (VanWoert et al., 2005<sup>62</sup>; Forrester, 2007<sup>63</sup>). El espesor del suelo es un factor importante para la efectividad, pero hay que ponerlo en la balanza con el coste del tejado verde y características técnicas que tiene que tener el edificio para soportarlo. Castiglia Feitosa y Wilkinson (2016)<sup>64</sup> modelizaron tejados verdes con un espesor de suelo de entre 5 a 160 cm. La efectividad del suelo menos profundo es 3% menor que el suelo de mayor grosor. Los suelos poco profundos tienen la ventaja de ser más ligeros, lo que los hace atractivos para reverdecer un mayor número de edificios.</p> <p>Otro de los factores que intervienen en la efectividad de los tejados verdes es la pendiente. Cuanto mayor es la pendiente del tejado verde, menor es la capacidad de retener el agua. Según Getter et al. (2007)<sup>65</sup> la efectividad de un tejado verde puede disminuir un 9% al pasarnos de una pendiente del 2% al 25%.</p> <p>El pavimento permeable es una alternativa al asfalto tradicional que mejora la infiltración de la superficie. Según la literatura, el pavimento permeable mejora la tasa de infiltración un 66%, reduce la escorrentía pico un 76% y reduce la inundabilidad un 17% (James y Langsdorf, 2003<sup>63</sup>; Bean et al., 2004<sup>67</sup>; EPA, 2014<sup>68</sup>; Brunetti et al., 2016<sup>69</sup>). El estudio realizado por (Bean et al., 2004) demuestra la importancia del mantenimiento en este tipo de pavimentos de cara a mantener la efectividad de los mismos. Al eliminar la última capa de residuos del pavimento (unos 1.6 cm), la infiltración media incrementa un 21% (para de ser 5 cm/hr a 8 cm/hr).</p>
<b>2. Zona climática</b>	<p>Parece ser que las Soluciones Naturales son capaces de disminuir la escorrentía en diferentes condiciones climáticas. La mayoría de los estudios se han realizado en Europa y Estados Unidos, aunque hay que remarcar que la revisión se llevó a cabo en documentos en inglés. Por tanto, existen estudios de efectividad en las regiones frías, los países mediterráneos y asiáticos, incluidos China, Singapur y Vietnam. De todas formas, se necesita más investigación en otras zonas climáticas a nivel mundial con fines comparativos</p>
<b>3. Localización del estudio</b>	<p>Se refiere a la localización en la que se analiza la efectividad. Esto es importante, ya que además de la zona climática, el microclima también juega un papel importante. La precipitación es un fenómeno muy local.</p>

<sup>62</sup> VanWoert ND, Rowe DB, Andresen JA, Rugh CL, Fernández RT, Xiao L, 2005. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of Environmental Quality* 34, 1036-1044

<sup>63</sup> Forrester K, 2007. Evaluation of storm water runoff from a Midwest green roof system. (MSc thesis). Southern Illinois Univ, Edwardsville, IL

<sup>64</sup> Castiglia Feitosa R, Wilkinson S, 2016. Modelling green roof stormwater response for different soil depths. *Landscape and Urban Planning* 153, 170-179

<sup>65</sup> Getter KL, Rowe DB, Andresen JA, 2007. Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering* 31: 225-231

<sup>66</sup> James W, von Langsdorf H, 2003. Computer-Aided Design of Permeable Concrete Block Pavement for Reducing Stressors and Contaminants in an Urban Environment, in: *Proceedings of the Seventh International Conference on Concrete Block Paving (PAVE AFRICA)*, Sun City, South Africa. pp. 12-15

<sup>67</sup> Bean EZ, Hunt WF, Bidelspach DA, 2004. Study on the Surface Infiltration Rate of Permeable Pavements. *American Society of Civil Engineers*, pp. 1-10

<sup>68</sup> EPA, 2014. Using Green Infrastructure to Mitigate Flooding in La Crosse, WI, Green infrastructure technical assistance program. City of La Crosse, WI

<sup>69</sup> Brunetti G, Principato F, Piro P, 2016. Numerical analysis of the hydrologic performance of a permeable pavement. Presented at the XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bologna

FACTOR	CÓMO AFECTA EL FACTOR EN LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD																														
<p><b>4. Escala</b></p>	<p>La escala de implementación es un componente importante que afecta a la evaluación de la efectividad. Por ejemplo, la mayoría de los estudios evalúa la efectividad de tejados verdes a escala de edificio (los tejados verdes retienen un promedio del 41% del agua de lluvia). Sin embargo, para conocer su efectividad a meso-escala (ciudad o cuenca) se necesitan más estudios. Lo que podemos deducir es que los tejados verdes al tener capacidad de retener agua pueden ser una solución útil a escala de ciudad para reducir la inundabilidad pluvial. Aunque los tejados verdes deben ir acompañados por otras Soluciones Naturales para que sean realmente efectivas a escala ciudad. Por ejemplo, en los aparcamientos o espacios públicos con suelo sellado, al no tener capacidad de retener agua, podemos implementar pavimento permeable o incluir jardines o arbolado para reducir la escorrentía en la ciudad</p>																														
<p><b>5. Tipo de medición de la efectividad</b></p>	<p>Alrededor de dos tercios de los estudios revisados en la literatura se basan en observaciones o una combinación de observación y simulación. Las observaciones de efectividad, en el contexto de la reducción de la escorrentía, reflejan cómo se comporta una Soluciones Naturales en la práctica, bajo condiciones particulares que enmarcan el estudio (por ejemplo, ubicación, condiciones climáticas). Las observaciones de efectividad son por lo tanto específicas al contexto, pero dan una idea de la aportación real de una solución de adaptación en el caso de estudio en la forma en que los modelos no pueden. Esto podría ser útil para comunicar los resultados de los estudios de efectividad a los agentes de la ciudad. Pero las simulaciones también tienen su parte positiva y es que permiten analizar la efectividad bajo escenarios de cambio climático (introduciendo proyecciones de precipitación). También permiten trabajar a escalas mayores. Lo ideal es combinar ambas y utilizar las observaciones para validar el modelo</p>																														
<p><b>6. Software o herramienta de medición utilizado</b></p>	<p>Cada software o herramienta tiene sus peculiaridades que hacen que el resultado pueda ser diferente</p>																														
<p><b>7. Tipo de precipitación simulada</b></p>	<p>Cantidad de precipitación caída en el momento del análisis de la efectividad.</p> <p>Cuanto menor es la cantidad de lluvia durante un evento, mayor es la proporción de lluvia retenida por las Soluciones Naturales. Durante las lluvias más intensas, las Soluciones Naturales se saturan y, por lo tanto, no pueden retener toda la lluvia que cae sobre ellos. Efectividad de tejados verdes dependiendo de la cantidad de precipitación:</p> <table border="1" data-bbox="858 1144 1385 1451"> <thead> <tr> <th>Referencia</th> <th>Precipitación</th> <th>Retención (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(Speak et al., 2013)<sup>70</sup></td> <td>&lt;2 mm</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>(Speak et al., 2013)</td> <td>2–10 mm</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>(Simmons et al., 2008)<sup>71</sup></td> <td>&lt;10 mm</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>(Speak et al., 2013)</td> <td>&gt;10 mm</td> <td>51</td> </tr> <tr> <td>(Hakimdavar, 2016)<sup>72</sup></td> <td>20–40 mm</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>(Carter y Rasmussen, 2006)<sup>73</sup></td> <td>25.4–76.2 mm</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>(Hakimdavar, 2016)</td> <td>&gt;40 mm</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td>(Simmons et al., 2008)</td> <td>49 mm</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>(Carter y Rasmussen, 2006)</td> <td>&gt;76.2 mm</td> <td>48</td> </tr> </tbody> </table>	Referencia	Precipitación	Retención (%)	(Speak et al., 2013) <sup>70</sup>	<2 mm	68	(Speak et al., 2013)	2–10 mm	70	(Simmons et al., 2008) <sup>71</sup>	<10 mm	100	(Speak et al., 2013)	>10 mm	51	(Hakimdavar, 2016) <sup>72</sup>	20–40 mm	45	(Carter y Rasmussen, 2006) <sup>73</sup>	25.4–76.2 mm	54	(Hakimdavar, 2016)	>40 mm	37	(Simmons et al., 2008)	49 mm	29	(Carter y Rasmussen, 2006)	>76.2 mm	48
Referencia	Precipitación	Retención (%)																													
(Speak et al., 2013) <sup>70</sup>	<2 mm	68																													
(Speak et al., 2013)	2–10 mm	70																													
(Simmons et al., 2008) <sup>71</sup>	<10 mm	100																													
(Speak et al., 2013)	>10 mm	51																													
(Hakimdavar, 2016) <sup>72</sup>	20–40 mm	45																													
(Carter y Rasmussen, 2006) <sup>73</sup>	25.4–76.2 mm	54																													
(Hakimdavar, 2016)	>40 mm	37																													
(Simmons et al., 2008)	49 mm	29																													
(Carter y Rasmussen, 2006)	>76.2 mm	48																													

<sup>70</sup> Speak AF, Rothwell JJ, Lindley SJ, Smith CL, 2013. Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. Science of the Total Environment 461-642: 28-38

<sup>70</sup> Simmons MT, Gardiner B, Windhager S, Tinsley J, 2008. Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. Urban Ecosystems 11: 339-348

<sup>72</sup> Hakimdavar R, 2016. Quantifying the hydrological impact of landscape re-greening across various spatial scales. School of Arts and Sciences, Columbia University, Columbia

<sup>73</sup> Carter TL, Rasmussen TC, 2006. Hydrologic behavior of vegetated roofs. Journal of the American Water Resources Association 42: 1261-1274

<sup>74</sup> Bengtsson L, Grahn L, Olsson J, 2005. Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. Hydrological Research 36: 259-268

<sup>75</sup> Stovin V, Vesuviano G, Kasmin H, 2012. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. Journal of Hydrology 414–415: 148–161

<sup>76</sup> Stovin V, Poë S, Berretta C, 2013. A modelling study of long term green roof retention performance. Journal of Environmental Management 131, 206-215

FACTOR	CÓMO AFECTA EL FACTOR EN LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD
8. Estación del año	También hay una clara distinción estacional en términos de la capacidad de retención de las Soluciones Naturales. La capacidad de retención es mayor durante el verano que en los meses de invierno. Esto se debe a la frecuencia de los eventos de precipitación. Durante los meses de verano, ocurren menos eventos y el periodo de tiempo durante los eventos es más largo lo que permiten que el sustrato se seque, mejorando así su capacidad de retención (Bengtsson et al., 2005 <sup>74</sup> ; Stovin et al., 2012 <sup>75</sup> , 2013 <sup>76</sup> )
9. Alternativas de diseño	Describe la comparativa de alternativas realizada: estado actual, sin medida versus alternativas con medidas. Por tanto, la efectividad varía dependiendo del estado actual que se está analizando y las alternativas con las que se está comparando
10. Indicador o variable en el que se mide la efectividad	La efectividad se puede medir a través de distintos indicadores: como por ejemplo escorrentía, altura de la lámina de agua, etc. Dependiendo de la variable escogida para evaluar la efectividad obtenemos distintos resultados. Se profundizará más este aspecto en el siguiente apartado: definición de indicadores de efectividad
11. Unidades en el que se expresa la efectividad	Unidad en el que se mide la efectividad. Un mismo indicador se puede expresar o bien en la unidad en la que se mide (como ejemplo la reducción de escorrentía en centímetros) o en porcentaje
12. Estadísticos	Además, se puede dar la efectividad como la media de la diferencia entre el estado actual y las alternativas de diseño o bien se puede mostrar la diferencia máxima entre ambos

● **Captura de carbono**

Tabla 10. Factores clave que afectan en la evaluación de la efectividad de la variable de captura de carbono.

FACTORES	CÓMO AFECTA EL FACTOR EN LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD
<p><b>1. Escala de trabajo</b></p>	<p>Dependiendo de la escala de trabajo, la resolución a la que se podrá trabajar va a variar, afectando a las estimaciones. Por ejemplo, a una meso-escala de ciudad, sería demasiado laborioso inventariar cada unidad de árbol e identificar la especie a la que pertenece, dificultando la asignación de tasas de absorción de CO<sub>2</sub> según especie</p>
<p><b>2. Método utilizado para determinar el contenido en carbono</b></p>	<p>El carbono orgánico en suelo se puede determinar mediante distintos métodos analíticos (por ejemplo, por combustión seca o por el método de Walkley y Black). Si se van a comparar resultados, se debe procurar utilizar un mismo método, en caso contrario, deberán considerarse ecuaciones de equivalencia entre los métodos</p>
<p><b>3. Años a los que se calcula la absorción</b></p>	<p>Al utilizar las calculadoras de absorciones de CO<sub>2</sub> para estimar el carbono fijado en la biomasa leñosa, se pueden obtener datos del carbono que se esperaría tener al cabo de distintos años (20, 25, 30, 35 y 40, en el caso de la calculadora del MAPAMA). Obviamente, la elección del año marcará la estimación realizada</p>

## ● Biodiversidad

Tabla 11. Parámetros clave que afectan en la evaluación de la efectividad de la variable de biodiversidad.

FACTOR	CÓMO AFECTA EL FACTOR EN LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD
1. Escala de trabajo	Dependiendo de la escala de trabajo, la resolución a la que se podrá trabajar va a variar, afectando a las estimaciones
2. Estación del año	La estacionalidad afecta de forma considerable a la composición y abundancia de las comunidades biológicas
3. Grupo taxonómico contemplado	El estudio se podría centrar en distintos (uno o varios) grupos taxonómicos vegetales o animales
4. Índices utilizados	Hay multitud de índices de biodiversidad que pueden ser empleados para la evaluación de la efectividad (Magurran, 2004) <sup>77</sup>

<sup>77</sup> Magurran AE, 2004. Measuring Biological Diversity. Blackwell Publishing, Oxford

## Herramientas

A continuación, y a modo de ejemplo, se listan algunas de las herramientas que se pueden utilizar para la cuantificación de los beneficios de las Soluciones Naturales en los cuatro ámbitos en el que se enfoca la guía: temperaturas extremas, inundaciones, captura de carbono y biodiversidad.

Tabla 12. Herramientas existentes para la cuantificación de los cuatro ámbitos estudiados.

Amenaza climática	Escala	Herramienta / método	Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
Temperaturas extremas	Micro-escala	Estaciones móviles de medición	Estaciones móviles con sensores térmicos para describir variaciones climáticas		Posibilidad de cubrir una gran área en un tiempo relativamente corto y utilizando la misma instrumentación	
		Observaciones, mediciones in-situ y teledetección	La más conocida es la estación meteorológica que recoge datos climáticos	En los últimos años se han ido desarrollando cada vez más sistemas de monitoreo (teledetección) con tecnologías de telecomunicación inalámbricas. Estas últimas han permitido disponer cada vez más datos a tiempo real		
		ENVI-met	Programa de simulación del clima desarrollado para estudiar el microclima urbano (en 3D)	Se utiliza para el cálculo de muchas variables climáticas, así como indicadores de confort. Es capaz de simular dinámicas del microclima en un ciclo diario y en un entorno urbano complejo	Permite realizar simulaciones de alta resolución temporal y espacial, lo que hace que sea una herramienta útil para planificadores urbanos a modo de sistema de toma de decisiones. La resolución horizontal que se suele usar es de entre 0.5 metros y 10 metros, lo que permite simular interacciones entre edificios individuales, superficie y vegetación	
		TOWNSCOPE		Realiza análisis tridimensional ofreciendo información urbana. Está acoplado a un algoritmo de evaluación solar y a otro de confort térmico		

Amenaza climática	Escala	Herramienta / método	Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
Temperaturas extremas	Micro-escala	RayMan		Se utiliza para el análisis de flujos radiactivos de onda larga o corta. Es un modelo útil para la planificación urbana o diseño de calles. La salida del modelo es el Tmrt		
		SOLWEIG		Permite la evaluación del Tmrt y del (PET) espacial en un entorno urbano y temporal en horizontes temporales		
	Meso escala	Imágenes térmicas de satélite	Imágenes térmicas de infrarrojo	Permiten analizar el efecto del clima urbano a través de la temperatura superficial del terreno. Como ejemplo tenemos los datos ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) y MODIS)		
		Modelos de predicción de tiempo: WRFM (Weather Research and Forecasting Model)	Es un modelo numérico de predicción del tiempo	Está diseñado tanto para investigación atmosférica como predicción operacional. Este modelo también se ha utilizado para el análisis del efecto de isla de calor en el futuro		
		Enviro-HIRLAM		Permite predecir la composición atmosférica, la meteorología y el cambio climático, aunque para ello requiere el uso de modelos numéricos acoplados de predicción numérica del tiempo y un modelo de transporte atmosférico de químicos		

Amenaza climática	Escala	Herramienta / método	Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
Temperaturas extremas	Meso escala	UrbClim	Es un modelo de clima urbano diseñado para cubrir la escala meso con una escala de resolución de unos pocos cientos de metros	Está acoplado a una capa atmosférica 3D y está basado en una física urbana simple. Tecnalia dispone de un acuerdo de colaboración con VITO con el que cuenta la posibilidad de utilizar dicho modelo		
		UC-Map (o mapa de clima urbano)		Tiene dos componentes que son igualmente importantes. Por una parte, se elabora un Mapa de Análisis del Clima Urbano (MCU-An) para representar gráficamente las características climáticas principales de la zona de estudio. Este mapa es la base para el desarrollo del Mapa de Recomendaciones para Clima Urbano (MCU-Re) que incluye una zonificación de niveles de sensibilidad climática, así como recomendaciones generales para la planificación y desarrollo urbano de la ciudad. Es una metodología desarrollada por Tecnalia		
Inundaciones	Micro- y meso-escala	CityCAT	Modelo hidrodinámico de inundación de aguas superficiales con simulación subsuperficial hidráulica unida		No es un software comercial. Los desarrolladores están abiertos a incluir mejoras o funcionalidades adicionales para la evaluación de los beneficios de las Soluciones Naturales. Es un software con mucho potencial	No está a disposición del público. Se recomienda realizar un curso de formación ofrecida por la Universidad de Newcastle

Amenaza climática	Escala	Herramienta / método	Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
Inundaciones	Micro- y meso-escala	EPA (SWMM)	Es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones para la gestión de aguas pluviales de la EPA	El modelo permite simular la cantidad del agua evacuada, teniendo en cuenta los alcantarillados urbanos	Es software gratuito y ha sido utilizado por muchos durante muchos años, tiene la mayoría de las funcionalidades que otros software comerciales	No existe un soporte formal por parte de los desarrolladores. Si se quieren hacer análisis más complejos como la retención de tejados verdes no se puede modificar la aproximación que existe
		Modelos comerciales como son MIKE-SHE, MIKE-URBAN, InfoWorks y SOBEK	Hidráulica fluvial en 1D, 2D o 1D+2D incluyendo Puentes, Redes de Saneamiento y otras estructuras	El motor de cálculo es más o menos iguales en estos modelos comerciales	Son modelos importantes y existe la posibilidad de contratar soporte técnico	La mayor limitación es el coste de su licencia. Tienen la posibilidad de incluir algunos Soluciones Naturales (como tejado verde), pero se necesita soporte técnico por parte de las empresas desarrolladoras para tratar este último punto
Captura de carbono	Micro- y meso-escala	Calculadora de absorciones ex ante de CO <sub>2</sub> de las especies forestales arbóreas españolas del MAPAMA	Calculadoras que estiman la fijación/emisión de CO <sub>2</sub> entre el estado actual y la alternativa de diseño propuesta	Estima las fijaciones de carbono en la biomasa aérea leñosa		Utilizan tasas de crecimiento de especies forestales, por lo que algunas especies ornamentales no están contempladas. En estos casos, se tendrá que optar por utilizar las tasas de captura de las especies más cercanas filogenéticamente
		Calculadora de absorciones ex ante de CO <sub>2</sub> de la CAPV		Estima las reservas totales de carbono, tanto en la biomasa aérea como en el suelo	Contempla el carbono del suelo	

Amenaza climática	Escala	Herramienta / método	Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
<b>Biodiversidad</b>	<b>Meso-escala</b>	<b>FRAGSTATS</b>	Programas que calculan indicadores de fragmentación de hábitats	Muy utilizado y recomendado. Utiliza varias medidas para cuantificar la conectividad de los hábitats a distintas escalas espaciales a un nivel general	Es gratuito	
		<b>ArcMap</b>	Programas que calculan indicadores de fragmentación de hábitats	Incorpora herramientas como el cost distance que puede reflejar la fragmentación/conectividad		Programa de pago
		<b>GRAPHAB</b>	Programas que calculan indicadores de fragmentación de hábitats	Muy utilizado y recomendado. Incluye la construcción y visualización de gráficos, análisis de conectividad y enlaces con datos externos	Es fácilmente compatible con los sistemas de información geográfica	
		<b>GUIDOS</b>	Programas que calculan indicadores de fragmentación de hábitats	Adecuado para conectividad estructural	Es muy estable y puede manejar bases de datos raster enormes	

## 3.4 Ejemplo práctico

A continuación se muestran los principales resultados de las cuantificaciones realizadas en las dos alternativas de diseño de Txomin Enea.

### Temperaturas extremas

Tabla 13. Resumen de los resultados de la temperatura del aire máxima y mínima en las tres alternativas de diseño.

H: 6:00:00	Actual	Factible	Ideal
T <sup>a</sup> aire min (°C)	21.26	18.97	18.98
T <sup>a</sup> aire max (°C)	23.56	23.56	23.49
H: 14:00:00			
T <sup>a</sup> aire min (°C)	34.04	32.75	32.67
T <sup>a</sup> aire max (°C)	36.42	36.44	36.42

Se adjunta a continuación el mapa térmico, de la variable T<sup>a</sup> del aire, comparativo de las alternativas de diseño actual y factible a las 14:00 PM, a 1.5m de altura:



Figura 16. Mapa de temperatura del aire comparativo de las alternativas de diseño actual y factible.

Se adjunta a continuación el mapa térmico, de la variable  $T^a$  del aire, comparativo de las alternativas de diseño actual e ideal a las 14:00 PM, a 1.5m de altura:



Figura 17. Mapa de temperatura del aire comparativo de las alternativas de diseño actual e ideal.

La influencia de las fuentes en la  $T^a$  del aire es evidente en las proximidades de las mismas, llegando a ser la mejora de casi 2.5°C.

Tabla 14. Resumen de los resultados de la temperatura media radiante en las tres alternativas de diseño.

H: 6:00:00	Actual	Factible	Ideal
$T^a$ mrt min (°C)	11.31	11.31	11.29
$T^a$ mrt max (°C)	16.97	16.95	16.95
H: 14:00:00			
$T^a$ mrt min (°C)	47.26	47.19	45.2
$T^a$ mrt max (°C)	76.04	75.47	74.82

Se adjunta a continuación el mapa térmico, de la variable Temperatura media radiante, comparativo de las alternativas de diseño actual y factible a las 14:00 PM, a 1.5m de altura:

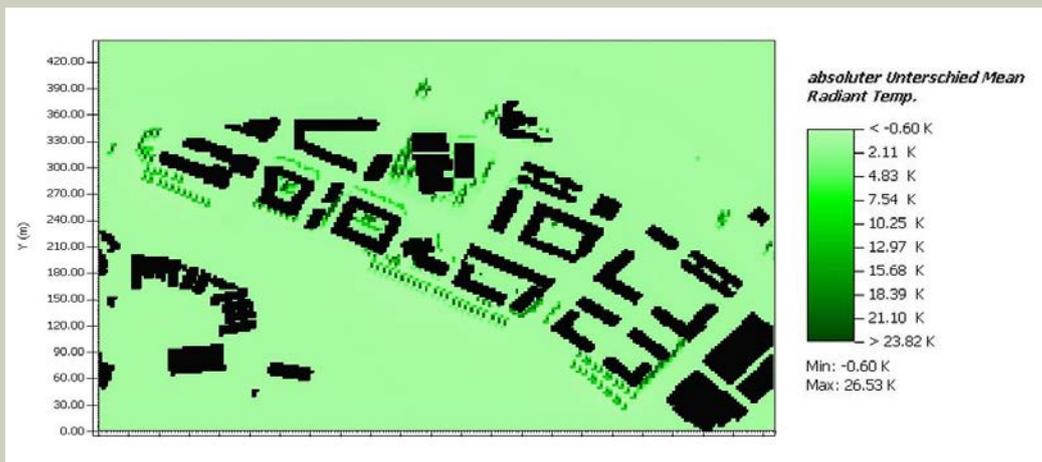


Figura 18. Mapa de temperatura media radiante comparativo de las alternativas de diseño actual y factible.

Se adjunta a continuación el mapa térmico, de la variable Temperatura media radiante, comparativo de las alternativas de diseño actual e ideal a las 14:00 PM, a 1.5m de altura:



Figura 19. Mapa de temperatura media radiante comparativo de las alternativas de diseño actual e ideal.

A la vista de los resultados, la influencia de las fuentes no es apreciable en la  $T_{mrt}$ , si siendo evidente la influencia del arbolado, que llegan a obtenerse mejoras de  $26.5^{\circ}\text{C}$ .

## Inundaciones

A continuación se muestran los resultados de la efectividad de las Soluciones Naturales en la reducción de inundaciones bajo distinta lluvias (de periodo de retorno de 10 y 25 años). Aunque las zonas en las que la Solución Natural surte efecto son las mismas para ambas lluvias, se detecta que cuanto mayor es la precipitación simulada menor es el efecto de las soluciones verdes debido a que el suelo se satura más rápido. En algunas zonas del área de estudio las Soluciones Naturales llegan a reducir hasta un máximo de 51 cm (para el PT10) y 23 cm (para el PT25), lo que supone una reducción importante. En la mayoría de las zonas la reducción es de entre 5 y 20 cm.

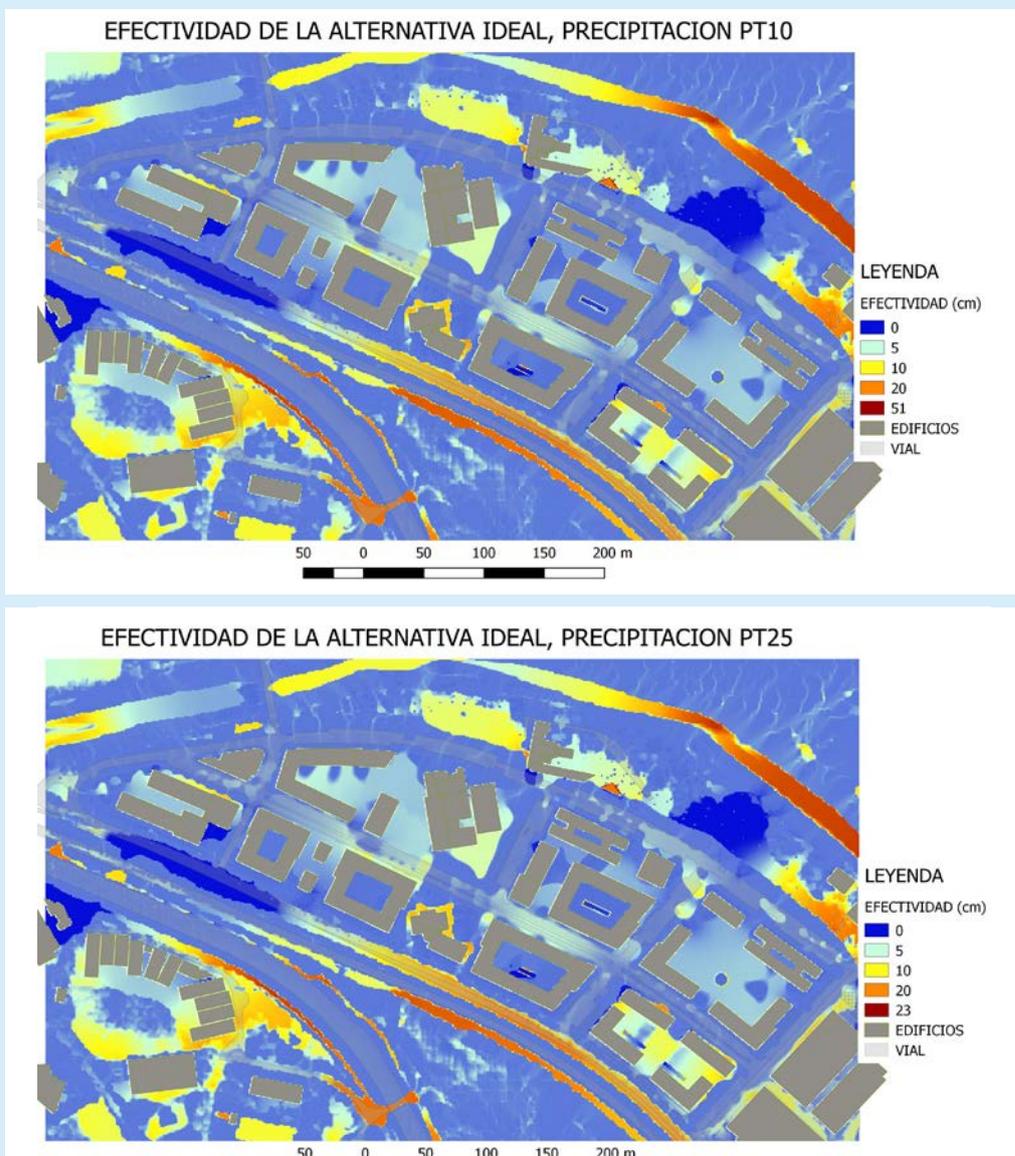


Figura 20. Mapas de efectividad de la alternativa ideal, precipitación PT10 y PT25.



La efectividad de la alternativa factible es entre 1 y 5 cm menor que el ideal (dependiendo la zona). Aunque en la alternativa factible se incluye menos área de Soluciones Naturales, ésta ya tiene una efectividad considerable.

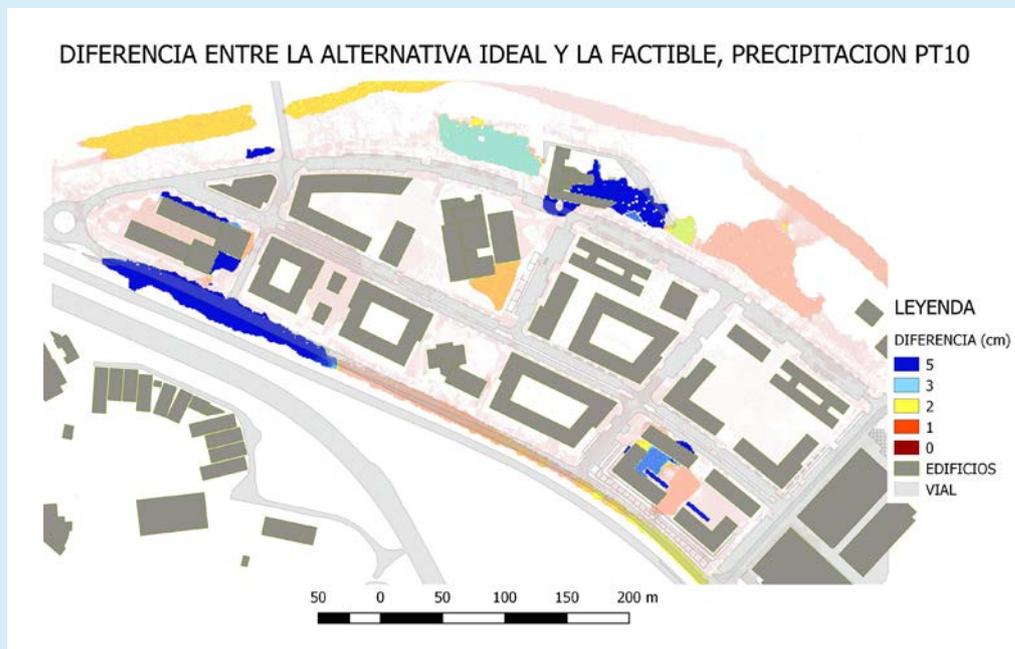


Figura 21. Mapa de la diferencia entre la alternativa ideal y la factible, precipitación PT10.

## ■ Captura de carbono

Tal y como se puede observar en las siguientes tablas y figuras, la captura de carbono aumenta considerablemente al pasar de la alternativa de diseño actual a la factible, y de la factible a la ideal.

Tabla 15. Cuantificación de la captura de carbono en las distintas alternativas de diseño.

	Actual	Factible	Ideal
	(t C)	(t C)	(t C)
<b>C en suelo</b>	<b>382.1</b>	<b>592.7</b>	<b>1005.9</b>
<b>C en biomasa herbácea</b>	<b>3.9</b>	<b>6.3</b>	<b>11.0</b>
<b>C en biomasa leñosa</b>	<b>146.0</b>	<b>185.8</b>	<b>204.9</b>
<b>SUMA</b>	<b>531.9</b>	<b>784.8</b>	<b>1221.8</b>

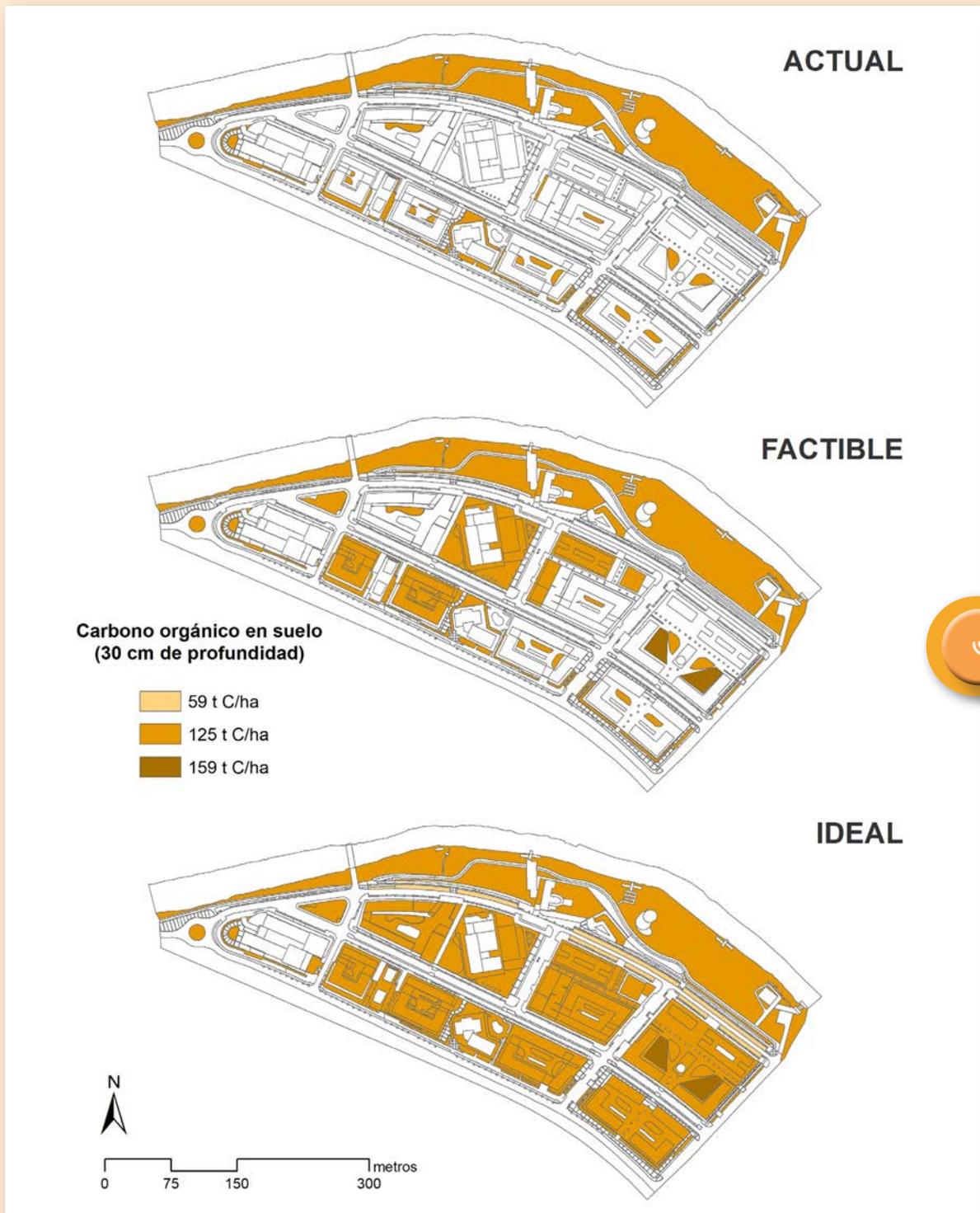


Figura 22. Representación cartográfica de la captura de carbono en suelo para las distintas alternativas de diseño.



Figura 23. Representación cartográfica de la captura de carbono en biomasa vegetal para las distintas alternativas de diseño.

## Biodiversidad

La biodiversidad vegetal y de fauna edáfica se incrementan en las alternativas de diseño factible e ideal en comparación con el diseño actual.

Tabla 16. Cuantificación de la biodiversidad arbórea en las distintas alternativas de diseño.

	Parque Fluvial	Urbanización		
		Actual	Factible	Ideal
<b>RIQUEZA</b>	<b>27</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>25</b>
<b>DIVERSIDAD Shannon</b>	<b>3.42</b>	<b>3.28</b>	<b>3.74</b>	<b>3.98</b>
<b>NÚMERO TOTAL DE PIES</b>	<b>398</b>	<b>412</b>	<b>611</b>	<b>727</b>

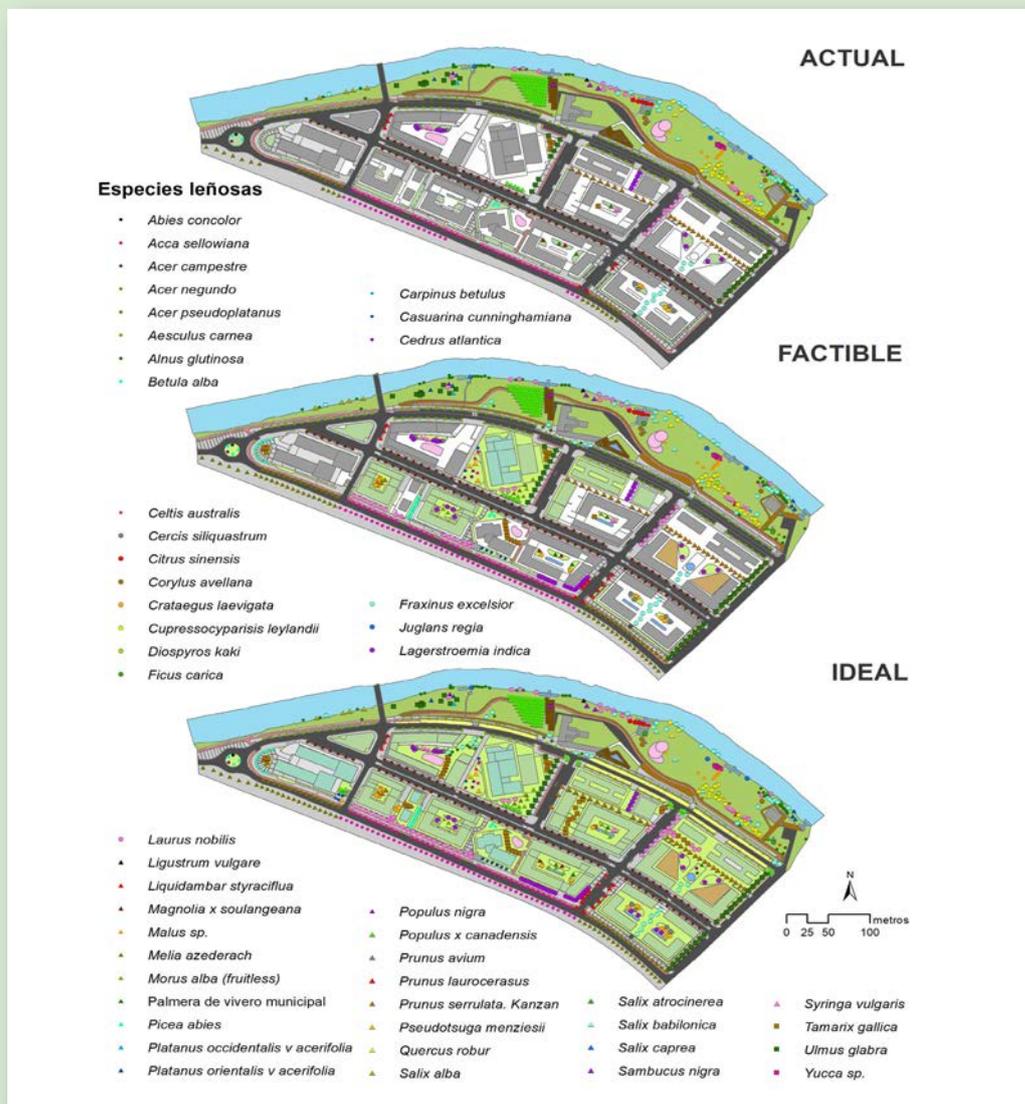


Figura 24. Representación cartográfica de la biodiversidad vegetal para las distintas alternativas de diseño.

Tabla 17. Cuantificación de la superficie correspondiente a cada índice de riqueza de biodiversidad de fauna edáfica (m<sup>2</sup>) en las distintas alternativas de diseño.

	Actual	Factible	Ideal
Índice = 14	0	3246	7091
Índice = 33	0	0	2950
Índice = 44	24009	24009	24009
Índice = 50	6459	21529	53084
<b>VALOR CUANTITATIVO</b>	<b>1076490</b>	<b>1807652</b>	<b>3237365</b>

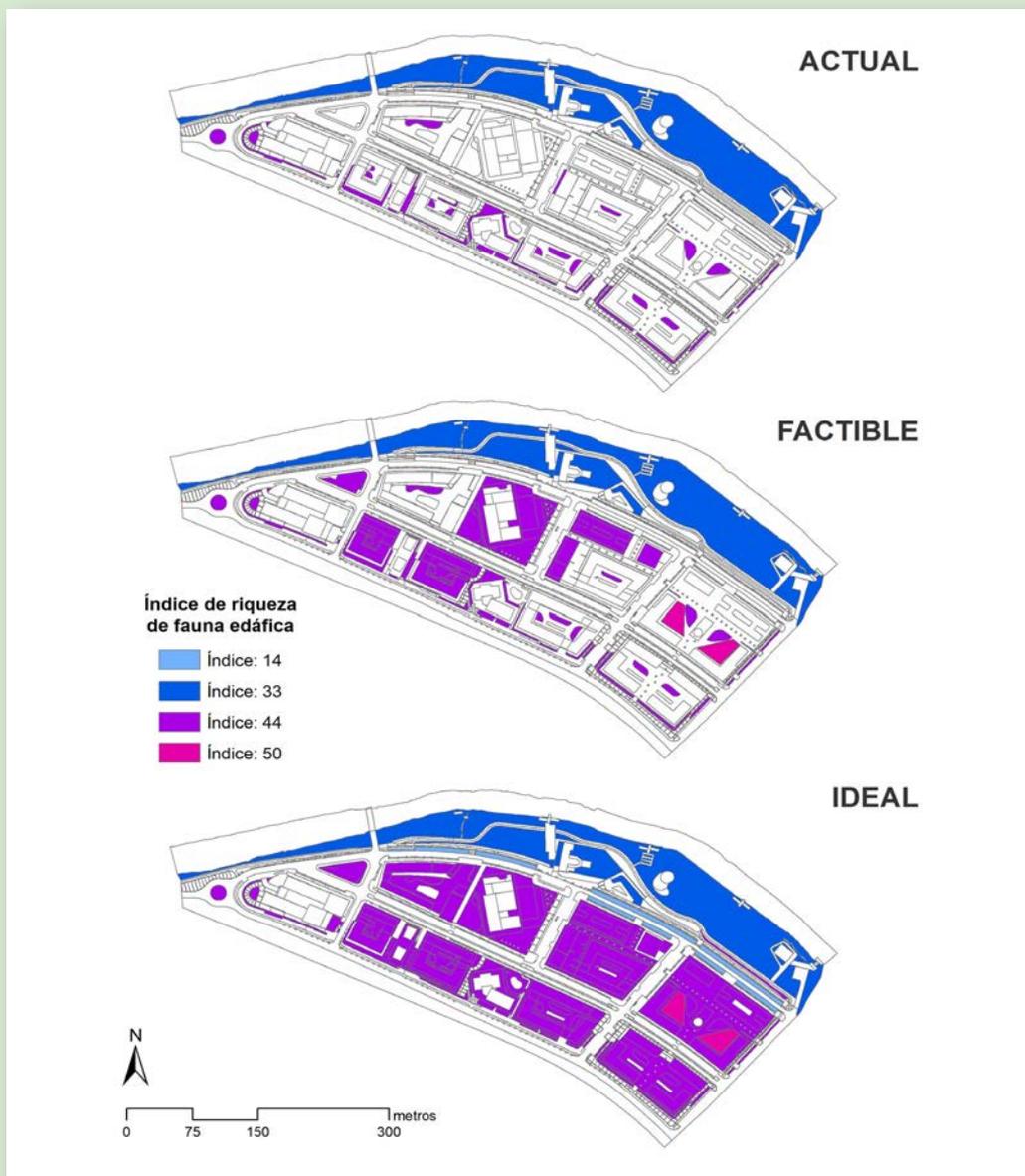


Figura 25. Representación cartográfica de la biodiversidad de fauna edáfica para las distintas alternativas de diseño.





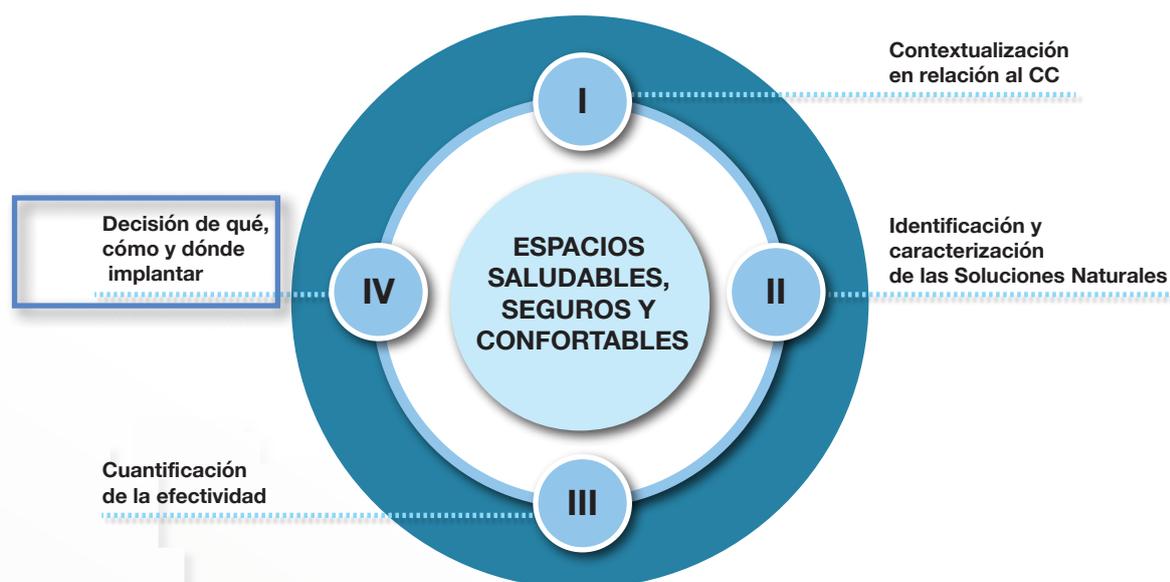
# 4

## Fase IV: Decisión de qué, cómo y dónde implantar

### 4.1 Descripción de la fase y objetivos clave

El objetivo de esta fase es **seleccionar las medidas** más eficientes y adecuadas a las necesidades y prioridades del municipio.

Algunas Soluciones Naturales han demostrado tener la cualidad de ser **multi-propósito**<sup>78</sup> y aportan tanto en la mitigación como en la adaptación, creando entornos más sostenibles y resilientes. La valoración de la aportación de las Soluciones Naturales a la mitigación, adaptación y resiliencia requiere considerar varios aspectos. Evaluar el valor y el potencial de las Soluciones Naturales requiere un enfoque que pueda tener en cuenta los **múltiples beneficios** a través de diferentes criterios.



En la presente guía se propone un **marco de evaluación** que reúne diferentes tipos de conocimiento e integra las contribuciones de múltiples beneficios.

<sup>78</sup> Liquefé C, Udías A, Conte G, Grizzetti B, Masi F, 2016. Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control. Highlighting hidden benefits. *Ecosystem Services* 22: 392-401

## 4.2 Pasos a seguir

### **Paso I: Integración de los múltiples beneficios de las Soluciones Naturales**

En la literatura se encuentran estudios sobre la valoración integrada de las Soluciones Naturales<sup>79</sup>. Una de las metodologías que se utilizan es el **análisis multicriterio (MCA)**. Como se ha comentado previamente, el multicriterio permite considerar múltiples objetivos y criterios, integrando diversos tipos de información. Cuando las dimensiones de decisión trascienden los aspectos económicos, el instrumento más usado es el MCA, que tiene una mayor capacidad para incorporar aspectos no económicos a la toma de decisiones.

El objetivo de este paso es **combinar los múltiples beneficios** que tienen las Soluciones Naturales en un indicador sintético que permita conocer el beneficio integrado de la solución.

Se pueden **integrar los múltiples-beneficios** de cada Solución Natural por separado, o bien se pueden integrar los múltiples beneficios de las alternativas (que agrupan varias Soluciones Naturales):

- En caso de que se integren los múltiples beneficios **para cada Solución Natural**, esto nos permite poder comparar entre las Soluciones Naturales. Puede ayudar en la toma de decisiones sobre qué solución o soluciones se quieren seleccionar para impulsarlas en el municipio.
- En el caso de que la integración de los múltiples beneficios se realice a **nivel de las alternativas**, esto nos permite tener una comparativa entre las alternativas. Puede ayudar en la selección de la alternativa que se quiera impulsar en el municipio.

<sup>79</sup> Liqueste C, Udias A, Conte G, Grizzetti B, Masi F, 2016. Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control. Highlighting hidden benefits. Ecosystem Services 22: 392-401

## **Paso II: Selección de la solución o soluciones a implementar**

La **selección** de las Soluciones Naturales más robustas, eficientes y efectivas desde los puntos de vista económico, social y ambiental, se puede realizar en base a los resultados de la priorización y mediante un proceso de toma de decisión consensuada y participativa con distintos niveles y sectores de la administración.

Partiendo de los resultados del paso previo, se pueden añadir **criterios adicionales** que permiten evaluar aspectos relevantes para la decisión final de selección de soluciones como:

- **Coste de implementación:** Se refiere a los costes de inversión. Este criterio puede ser un factor limitante y, por lo tanto, suele ser muy considerado.
- **Mantenimiento:** Las Soluciones Naturales pueden no tener una efectividad constante después de la implementación y, en consecuencia, pueden necesitar mantenimiento. Este criterio le permite al municipio estar al tanto de los esfuerzos que se deberán hacer en el futuro para un desempeño óptimo.
- **Factibilidad:** Puede haber muchas barreras (financieras, políticas, espaciales, técnicas, sociales) para la implementación de las soluciones. Estos deben ser considerados para su implementación exitosa y, por lo tanto, este criterio se puede utilizar para discernir entre aquellas soluciones que tendrán muchas barreras.
- **Co-beneficios:** El que una solución tenga co-beneficios es importante ya que los ciudadanos a menudo pueden tener beneficios de las soluciones de una forma no directa. El co-beneficio incluye beneficios secundarios tales como: la reducción de la demanda de energía en el interior del edificio que conducirá a un ahorro de costes (como por ejemplo gracias a los tejados verdes), reducción del ruido, aumento del confort térmico, aumento en las áreas recreativas, etc.
- **Aceptabilidad social:** La no aceptación de una solución puede resultar en un impedimento a la hora de su implementación y por tanto debe de ser considerada.

Se puede decidir seleccionar criterios adicionales dependiendo de los agentes del municipio y del objetivo que se establezca. Se propone el uso del **análisis multi-criterio** nuevamente para ver el efecto que tienen los criterios adicionales en la evaluación final. El resultado de este paso, junto con los mapas de efectividad generadas para cada beneficio ambiental (a meso- y micro-escala), pueden servir de base para **seleccionar** las **Soluciones Naturales** a implementar y definir la ubicación de las mismas.

## 4.3 Métodos y herramientas

### ■ Análisis multicriterio (MCA)

Existe una variedad de técnicas de **MCA** que cubren una amplia gama de enfoques. Las características comunes de las técnicas de MCA son que todas necesitan el **juicio de experto**, el uso de una **matriz** (compuesta por ejemplo como ya se ha indicado por las Soluciones Naturales, los indicadores de efectividad, e incluso un listado de factores clave de implementación) y proporcionar un sistema de ponderación para los criterios elegidos. Por otro lado, difieren en cómo combinan los datos. La cantidad de beneficios de Soluciones Naturales que se evalúa determina la elección de la técnica de MCA. En esta guía, se consideran las técnicas MCA que resuelven problemas con un número finito de opciones.

La aproximación del MCA consiste en **6 pasos**. Es aconsejable implicar a los agentes en los pasos de definición de los criterios y factores de ponderación:

1. **Listado de Soluciones Naturales.** Como primer paso se listan las Soluciones Naturales que se quieren evaluar.
2. Se listan los **criterios** que se han utilizado para la evaluación de la efectividad de las Soluciones Naturales.
3. Se crea una **matriz** en la que se incluye el valor de la efectividad de las soluciones para cada criterio.
4. Se **normalizan** las escalas de valoración (para que tengamos valores que sean comparables).
5. Se le da **peso** a cada criterio o se decide darles un peso igual a todos.
6. Se presentan los **valores finales** y la aportación de cada criterio (se puede realizar de forma gráfica o en forma de tabla).



Figura 26. Pasos de la aproximación del análisis multicriterio.

## 4.4 Ejemplo práctico

A continuación se describen los pasos seguidos para la integración de resultados en el caso de Txomin Enea:

1. Listado de Soluciones Naturales consideradas: árboles y patios verdes para la alternativa actual; árboles, tejados verdes, pavimento permeable, huertos, patios verdes, fuente y parking verde para las alternativas factible (excepto parking verde) e ideal.
2. Listado de criterios que se han considerado para la evaluación de las soluciones. En la siguiente figura se muestran los criterios y los indicadores de evaluación.

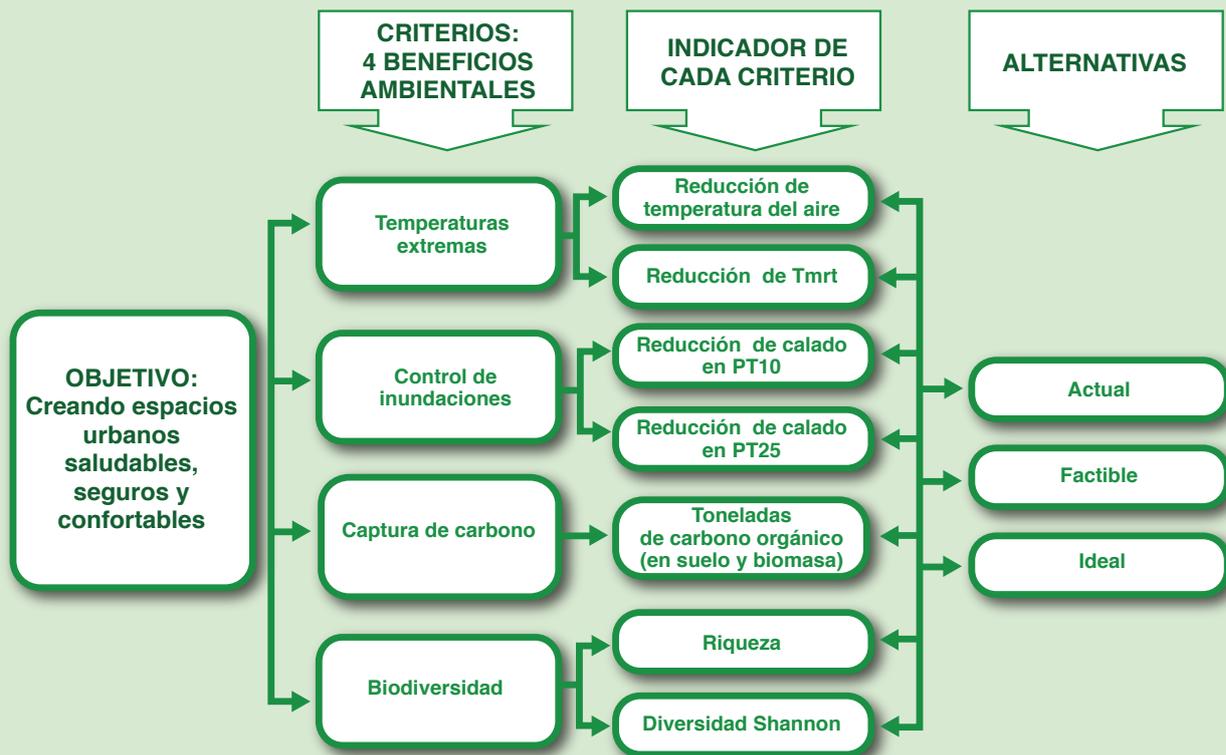


Figura 27. Esquema de objetivos, criterios indicadores y alternativas del caso de estudio en Txomin Enea.

### 3. Asignación de pesos

Después de consultar a los agentes del ayuntamiento de Donostia/San-Sebastián, se han obtenido las siguientes puntuaciones para los 4 criterios evaluados:

Tabla 18. Puntuaciones obtenidas para cada criterio evaluado.

CRITERIO	PUNTUACIÓN
Mejora del confort térmico y reducción del efecto isla de calor	6
Captación del agua de escorrentía y reducción de la posibilidad de tener inundaciones	9
Contribuir a la mitigación del cambio climático aumentando la captura de carbono en las propias NBS (vegetación y suelo)	7
Incrementar la biodiversidad vegetal y animal presente en la ciudad	8

La puntuación se ha realizado con una escala del 1 al 10 lo importante (siendo 1 menos importante y 10 más importante).

### 4. Resultado final

La valoración integrada consiste en combinar los resultados de efectividad obtenidos para cada criterio dándole pesos según los resultados obtenidos en el paso previo. En la siguiente figura se identifica, de entre las alternativas, la ideal como la más efectiva. La biodiversidad y la reducción de inundación (calado) son los criterios que más aportan a la valoración final, seguido de la captura de carbono y reducción en la temperatura.

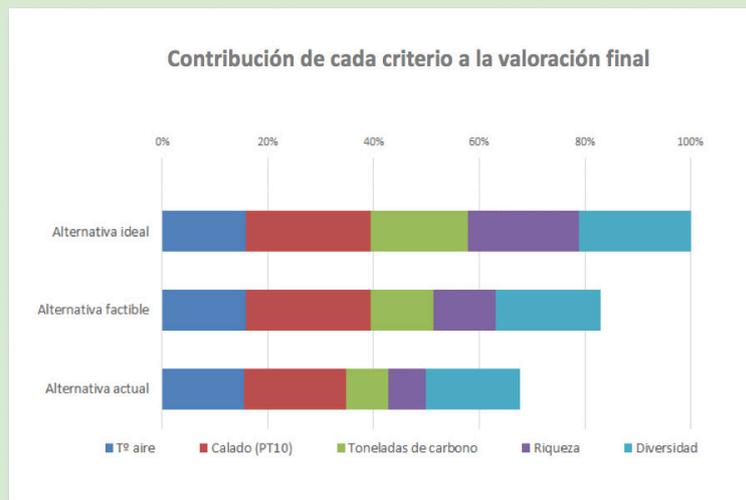


Figura 28. Integración de los múltiples beneficios de las Soluciones Naturales.

A continuación, se presentan los diagramas de araña. Se observa cómo en la alternativa actual, las Soluciones Naturales planteadas aportan entre poco y algo en la captura de carbono, biodiversidad, reducción de temperaturas extremas e inundaciones (calado). En la alternativa factible tanto la temperatura del aire como la inundación se ven reducidas, aunque la biodiversidad y la captura de carbono tienen más margen de mejora. Por último, la alternativa ideal es, de entre las tres, la que presenta mejor valoración global de los beneficios de las Soluciones Naturales.

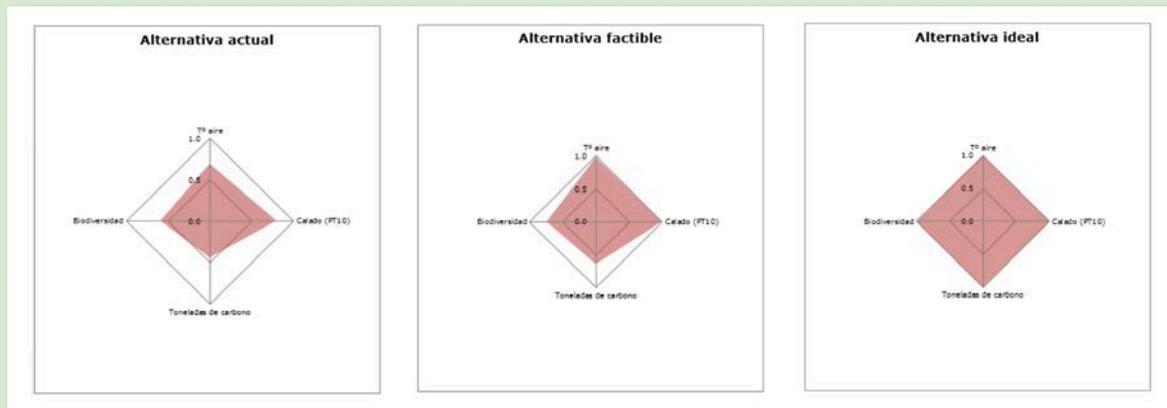


Figura 29. Diagramas de araña para cada alternativa.

Además de valorar las alternativas, se han valorado los múltiples beneficios de cada Solución Natural, obteniendo el siguiente resultado:

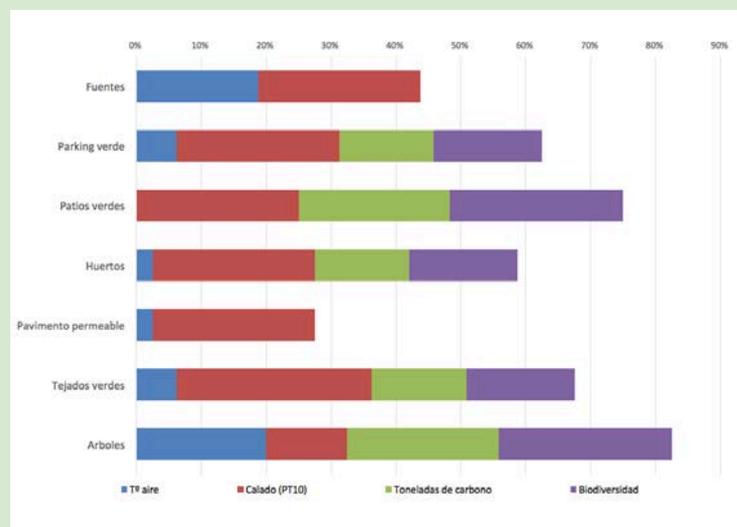


Figura 30. Múltiples beneficios de cada Solución Natural.

Según las aportaciones de cada beneficio ambiental y la asignación de pesos otorgado por el municipio a cada beneficio, son los árboles, patios verdes y los tejados verdes los que han obtenido una valoración mayor. En cambio, el pavimento permeable ha obtenido una valoración menor (debido a su mayor aportación a un único beneficio).



# 5

## Aplicabilidad de la evaluación de efectividad de Soluciones Naturales y corolario

Una vez descritas las propuestas metodológicas y herramientas asociadas a las diferentes fases de análisis, es oportuno incidir nuevamente en algunos aspectos clave ya mencionados en la introducción que adquieren mayor sentido como conclusiones sobre la aplicabilidad de la guía.

En primer lugar, recordar que es importante definir un planteamiento específico según la **escala de análisis y evaluación de la efectividad de las soluciones naturales**, diferenciando: i) la **meso-escala** o escala urbana, que puede permitir identificar zonas prioritarias de actuación para la implementación de soluciones naturales, considerando la situación de vulnerabilidad y riesgo climático así como el máximo despliegue potencial de soluciones naturales y sus posibles beneficios; ii) y la **micro-escala**, o escala sub-urbana de barrio, cuyo fin principal es integrar la efectividad como elemento de decisión en la selección de alternativas de diseño urbano, así como concretar parámetros de dimensionamiento y diseño de las soluciones naturales a implementar.

En segundo lugar, asociar la aplicación de las metodologías y herramientas de análisis

de efectividad a las políticas de **adaptación al cambio climático local**. El análisis de efectividad está directamente relacionado con la identificación y selección de opciones de adaptación. Éstas siempre responderán a un diagnóstico de vulnerabilidad y riesgo, o problemática climática determinada, que debe basarse en información disponible recopilada y en su caso estudios específicos de impacto, para los que pueden utilizarse herramientas de modelización similares a las empleadas en el análisis de efectividad de soluciones naturales. El vínculo de la efectividad con el diseño y la implementación de medidas de adaptación es evidente, pero además puede ser un insumo fundamental para definir el marco de monitorización de las medidas.

La adaptación al cambio climático es una política anticipatoria y de forma implícita aspira a generar ahorro a futuro, a través de evitar daños o reducir el gasto en acciones de respuesta al cambio climático. Por ejemplo, por cada euro invertido en protección ante inundaciones, se pueden llegar a ahorrar 6 euros evitando los costes derivados de los daños (EC, 2013)<sup>80</sup>. Esa perspectiva de anticipación no ha de requerir necesariamente un incremento de las inversiones actuales, sino reconsiderarlas, quizás no gastar más,

<sup>80</sup> EC, 2013. Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions an EU Strategy on adaptation to climate change. COM/2013/0216 final, Bruselas



pero sí gastar diferente. En este sentido optar por las soluciones naturales a nivel local permite optimizar recursos y realizar el proceso de adaptación de una forma más flexible que con las infraestructuras grises tradicionales, en ocasiones también más económica si además se considera el carácter multipropósito y los co-beneficios que pueden aportar. En definitiva, las soluciones naturales permiten una mejor gestión de las inversiones, pudiendo además contribuir a la reducción de costes y al incremento de beneficios totales (EEA, 2012<sup>81</sup>; Markandia 2014<sup>82</sup>). Las metodologías y herramientas incluidas en esta guía pueden ayudar a analizar el ratio coste/ efectividad de las soluciones naturales.

En tercer lugar, reiterar como el marco de implementación de las soluciones naturales son los procesos de **planeamiento urbanístico**, siendo una política municipal clave para la adaptación al cambio climático (IHOBE, 2012)<sup>83</sup>, donde pueden tener encaje de los resultados del análisis de efectividad, siempre asociados a escalas e instrumentos de planificación concretos.

La evaluación de la efectividad de las soluciones naturales a **meso-escala** permite informar la toma de decisiones en los procesos de planificación urbana estructural. Se pueden incorporar resultados del despliegue potencial de soluciones naturales y **zonas prioritarias** de actuación en los documentos de avance de los Planes Generales de Ordenación Urbana así como los informes estratégicos ambientales que lo acompañan. Así mismo, se puede establecer la **definición de**

**criterios y/o recomendaciones generales para el planeamiento de desarrollo**, pudiendo informar igualmente a las memorias de sus instrumentos de desarrollo (Planes Parciales, Planes Especiales, etc.), para mejorar las condiciones de las zonas del municipio más vulnerables a amenazas climáticas, aunque ello dependerá del estado de tramitación de los instrumentos de planeamiento vigente. Los estudios de beneficios ambientales a **micro-escala** proporcionan **parámetros de diseño** para incorporar en el planeamiento de desarrollo y proyectos urbanísticos, a través de intervenciones en el espacio público, tanto en tejido urbano consolidado (regeneración urbana) como en el contexto de nuevos desarrollos. En cualquiera de ambos casos, el despliegue de soluciones naturales a través del planeamiento puede tener un alcance de **contenido determinante** a través de normativa y ordenanzas o bien como **orientaciones y recomendaciones**.

Adicionalmente, es importante concretar la forma en la que las soluciones naturales han de hacerse operativas, identificando los **mecanismos para su financiación, mantenimiento e integración en el marco de las políticas locales**. Ello depende de los instrumentos (de planificación, participación y gestión), su vigencia o estado de su tramitación, así como si fuera necesario de la posible definición de nuevos mecanismos de diferente tipo, como planes de infraestructura verde ad-hoc, incentivos para el desarrollo de soluciones naturales, programas de investigación o proyectos piloto experimentales, sensibilización y educación, etc. Los ámbitos y políticas más factibles para la

<sup>81</sup> EEA Report No 2/2012. Urban adaptation to climate change in Europe Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies

<sup>82</sup> Markandia A, July 2014 Communication «Current challenges in the impacts and adaptation to climate change: Introduction to IPCC 5th Assessment WG2 Summary for Policy Makers» in BC3 Summer School Climate prediction for climate services: How the IPCC got involved in verifying the climate information

<sup>83</sup> Ezquiaga Arquitectura, Sociedad y Territorio S.L., TECNALIA Research & Innovation-Energía y Medio Ambiente. 2012. Manual de Planeamiento Urbanístico en Euskadi para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Ihobe, Bilbao, 57 pág.

incorporación de las soluciones naturales para la de mitigación y de adaptación, además de los planes urbanísticos, pueden ser entre otros las estrategias locales de desarrollo sostenible o Agenda 21 Local, planes de desarrollo local o proyectos estratégicos.

Más allá de las cuestiones de escala, alineación con la adaptación al cambio climático e integración en el planeamiento y las políticas locales, el **monitoreo y evaluación** de las soluciones naturales también requieren una mención. Una vez implementadas las soluciones naturales, sería conveniente realizar una monitorización de la efectividad y comprobar mediante mediciones in situ y quizás nuevamente con herramientas de modelización, que se están produciendo los beneficios estimados, por ejemplo, en términos de confort térmico o reducción de escorrentía.

Como mensaje final del corolario, señalar que **a pesar de que esta guía tiene un marcado énfasis en las herramientas y metodologías de análisis cuantitativo, también puede ser de utilidad para aplicar el enfoque y la aproximación general que se propone de forma cualitativa**. Es posible mantener la lógica, el objeto de esta secuencia de análisis y las herramientas mencionadas, en casos que no exista suficiente información de partida o recursos para desarrollar estudios detallados de análisis de efectividad de las soluciones naturales. Dos de los aspectos metodológicos destacados que pueden tener una aplicación cualitativa, basada en el juicio de expertos locales e información disponible son: i) el análisis comparado de **alternativas de diseño**; ii) y la utilización del

**análisis multicriterio** que permita valorar la efectividad asociada a múltiples beneficios y su **coste/efectividad**, junto con la viabilidad técnica de implementación y **otros factores clave** como las necesidades de mantenimiento o la aceptabilidad social. En principio, estos aspectos son aplicables y transferibles a diferentes tipos de municipios independientemente de su tamaño y características específicas.

Como se mencionaba en la introducción, las soluciones basadas en la naturaleza para la mitigación y adaptación al cambio climático están adquiriendo cierto protagonismo y popularidad. A pesar de que en cierta medida se trata de una nueva denominación o etiqueta que integra conceptos y prácticas ya existentes desde hace tiempo, tales como la infraestructura verde y los servicios de los ecosistemas, puede suponer una **oportunidad interesante para responder a nuevos retos como el cambio climático de una forma más flexible y sostenible**, alineada con el principio de precaución y considerando los límites del desarrollo. Además, puede que la progresiva evolución de las soluciones naturales conlleve la definición de nuevos estándares aplicables a ámbitos como el urbanismo, mejorando también su flexibilidad y sostenibilidad. El espíritu de esta guía es contribuir a todo ello, considerando que las propuestas que se realizan son un punto de partida para el contexto español y pueden ser objeto de actualizaciones a medida que evolucione el estado del arte.

