

# CUANTIFICACIÓN DE LOS BENEFICIOS DERIVADOS DE LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA EN EL CONTEXTO URBANO MUY ÁRIDO Y DENSIFICADO DE LIMA METROPOLITANA

Carol Torres Limache

## RESUMEN

El incremento de la proporción de superficie vegetal dentro del contexto altamente densificado de Lima, Perú es considerado una estrategia local clave de desarrollo sostenible. No obstante, puede tener complicaciones al exacerbar el estrés hídrico local. Por ello cuantificar la escala de beneficios obtenidos de las superficies vegetales locales, principalmente en cuanto a prioridades como la sensibilidad en el uso del agua y a la regulación de la temperatura, es necesario para optimizar la gestión del agua necesaria para su preservación. En ese sentido, la aplicación de la herramienta internacional, *Green Area Ratio* a nivel local, podría contribuir a que el incremento de la proporción de superficie vegetal de Lima conlleve un sentido multifuncional que mejore la calidad urbana en diferentes aspectos sociales, urbanos y ambientales.

Los resultados muestran que su aplicación en el contexto árido de Lima demandaría principalmente la adaptación del sistema de puntajes de la herramienta, especialmente de los altos valores comúnmente asignados a algunos sistemas basados en superficies vegetales por versiones extranjeras. Esto convierte a la versión del *Green Area Ratio* sugerida para Lima en este estudio en un sistema novel y único, que demanda más investigación. Sin embargo, puede ser usado como un marco preliminar basado en evidencia científica, en caso se considere su aplicación oficial como soporte a directrices locales de sostenibilidad y/o planes de mejoramiento de la calidad de las áreas verdes. Su aplicación podría fortalecer la implementación de superficies vegetales multifuncionales y soluciones basadas en la naturaleza adaptadas a la aridez del contexto.

**Palabras clave:** Herramientas de sostenibilidad; Soluciones basadas en la naturaleza (SbN); Servicios ecosistémicos; Resiliencia; Mitigación



# QUANTIFICAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DERIVADOS DAS SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA NO CONTEXTO MUITO ÁRIDO E DENSIFICADO DA METRÓPOLES DE LIMA

Carol Torres Limache

## RESUMO

*O aumento da proporção de espaço verde no contexto altamente densificado de Lima, o Peru é considerado uma estratégia-chave ao desenvolvimento sustentável local. No entanto, pode ter complicações, exacerbando o estresse hídrico local. Portanto, quantificar a escala de benefícios obtidos pelas áreas vegetais locais, principalmente em termos de prioridades como a sensibilidade ao uso da água e a regulação da temperatura, é necessário otimizar a gestão da água necessária para sua preservação. A este respeito, a aplicação da ferramenta internacional, Green Area Ratio a nível local, poderia contribuir para um aumento na proporção da área de superfície vegetal de Lima que de modo multifuncional para melhorar a qualidade urbana em diferentes aspectos sociais, urbanos e ambientais. Os resultados mostram que sua aplicação no contexto árido de Lima exigiria principalmente a adaptação do sistema de pontuação da ferramenta, especialmente dos altos valores comumente atribuídos a alguns sistemas baseados na vegetação por versões estrangeiras. Isto faz com que a versão do Green Area Ratio sugerida neste estudo requiera mais pesquisas. Entretanto, ele pode ser usado como um quadro preliminar, baseado em evidências científicas, caso sua aplicação oficial seja considerada para apoiar às diretrizes locais de sustentabilidade e/ou planos de melhoria de qualidade das áreas verdes. Sua aplicação poderia reforçar a implementação de superfícies vegetais multifuncionais e Soluções baseadas na Natureza, adaptadas à aridez do contexto.*

**Palavras chave:** Ferramentas de sustentabilidade; Soluções baseadas na natureza (SbN); Serviços de ecossistemas; Resiliência; Mitigação

# QUANTIFICATION OF THE BENEFITS DERIVED FROM THE NATURE BASED SOLUTIONS IN THE VERY ARID AND DENSIFIED URBAN CONTEXT OF METROPOLITAN LIMA

Carol Torres Limache

## ABSTRACT

*Increasing the proportion of local vegetated surfaces within the highly densified context of Lima, Peru is considered a key local strategy of sustainable development. However, it may experience limitations as it could exacerbate water stress in the city. Therefore, quantifying the scale of benefits derived from local vegetated surfaces, mainly in terms of sensitivity to water use and urban temperature regulation, is necessary to optimize the management of water use for its preservation. The application of the international tool, Green Area Ratio at the local level, could contribute so that the increase in the proportion of vegetated surfaces in Lima considers a multifunctional sense to improve urban quality in different social, urban and environmental aspects.*

*The results show that in order to be applied in the arid context of Lima, the tool would require adaptation, mainly of the scoring system, especially high values commonly assigned by foreign versions to some vegetated-based systems. This would make the version of the Green Area Ratio suggested for Lima in this study a novel and unique system, which demands further deeper research. However, it can be used as a preliminary framework based on scientific evidence, in case its official application is considered to support local sustainability guidelines and/or quality improvement plans for green areas. Its application could strengthen the implementation of multifunctional vegetable surfaces and nature-based solutions adapted to the aridity of the context.*

*Keywords: Sustainability tools; Nature-based solutions (NbS); Ecosystem services; Resilience; Mitigation.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Incrementar la proporción de la superficie urbana vegetal es una estrategia clave dentro del concepto de desarrollo urbano sostenible peruano (MVCS, 2017). Esto se hace evidente en la creciente lista de directrices locales de sostenibilidad, que buscan compensar los impactos de la densificación a través del incremento del área destinada a superficies vegetales dentro de una parcela. En efecto, las superficies vegetales, especialmente en la forma de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), resultan multifuncionales (ICLEI, 2021) al proveer diferentes Servicios Ecosistémicos (SEs). Los SEs son los diversos beneficios que provee la vegetación tanto a nivel ambiental como social y/o cultural. Por ejemplo, la vegetación es capaz de regular la temperatura urbana, contribuir a la seguridad alimenticia, mitigar el riesgo a inundaciones, entre otros beneficios. Por ello, los SEs mejoran la calidad de vida y fortalecen la resiliencia sobre todo ante el cambio climático (Pauleit et al., 2017; Benedict & McMahon, 2002).

Sin embargo, incrementar la proporción de la superficie urbana vegetal arbitrariamente, en configuraciones urbanas muy áridas y densificadas como Lima, Metropolitana puede convertirse en algo poco funcional y sostenible (Doherty, 2017, p.17; Ivanir et al., 2015). Por un lado, la aridez dificulta su mantenimiento haciendo que se conviertan en pavimentos que finalmente exacerban las islas de calor urbano (ICUs) (Osmond & Sharif, 2017). Por otro lado, la presión adicional en el consumo de agua para irrigación podría exacerbar el existente estrés hídrico y la vulnerabilidad a las sequías (Doherty, 2017, p.17).

Por ello, un primer paso para optimizar la sostenibilidad al incrementar la proporción de la superficie urbana vegetal en Lima sería contar con una herramienta que contribuya a cuantificar la escala de beneficios finales entregados por la vegetación (SEs). Así, se podría reconocer la calidad de dicho incremento y asegurar que resulte multifuncional y conveniente para los objetivos de sostenibilidad de la ciudad. Como resultado, el agua destinada a su preservación podría utilizarse de manera más racional y estratégica.

El *Green Area Ratio* (GAR) podría ser una herramienta útil en ese sentido. El GAR fue creado para aumentar la proporción de la superficie urbana vegetal en los exteriores de una parcela, considerando el fortalecimiento de la sostenibilidad local y calidad resultante (Juhola, 2018; Keeley, 2011). A través de la asignación de un factor a una práctica basada en vegetación (o pavimentación), la herramienta adjudica un valor relativo que refleja el nivel de contribución de dicha práctica y su relevancia dentro del contexto local. Esto facilita la medición del aporte del 'ratio de áreas verdes' de un proyecto a la consecución de diferentes SEs (Landschaft Planen & Bauen y Becker Giseke Mohren Richard, 1990; Vartholomaios et al, 2013).

Si bien el GAR ha sido aplicado en nueve ciudades del mundo, el contexto climático y urbano de Lima demandaría su adaptación a las condiciones locales (Miranda et al., 2015). Dentro de un contexto como el de Lima, la implementación de superficies vegetales debe contar con un enfoque sensible al agua (Eisenberg et al., 2014) adaptado a las condiciones del clima ya que es vital para la sostenibilidad (Erell et al., 2011).

Por ello, en base a la revisión de los nueve casos y las condicionantes locales, se definirá un marco preliminar para una herramienta GAR para Lima (GAR-Lima). Bajo métodos cualitativos y cuantitativos se determinarán qué objetivos ambientales (SEs), Prácticas y Factores deberían considerarse, dando énfasis a la conservación del agua y la regulación térmica a través de un análisis con ENVI-met 4.4.5. Finalmente, se aplicará la herramienta resultante a diferentes escenarios urbanos típicos locales. para observar cómo cuantifica la escala de beneficios (SEs) otorgados por las superficies exteriores de cada escenario, principalmente en términos de conservación del agua y regulación térmica.

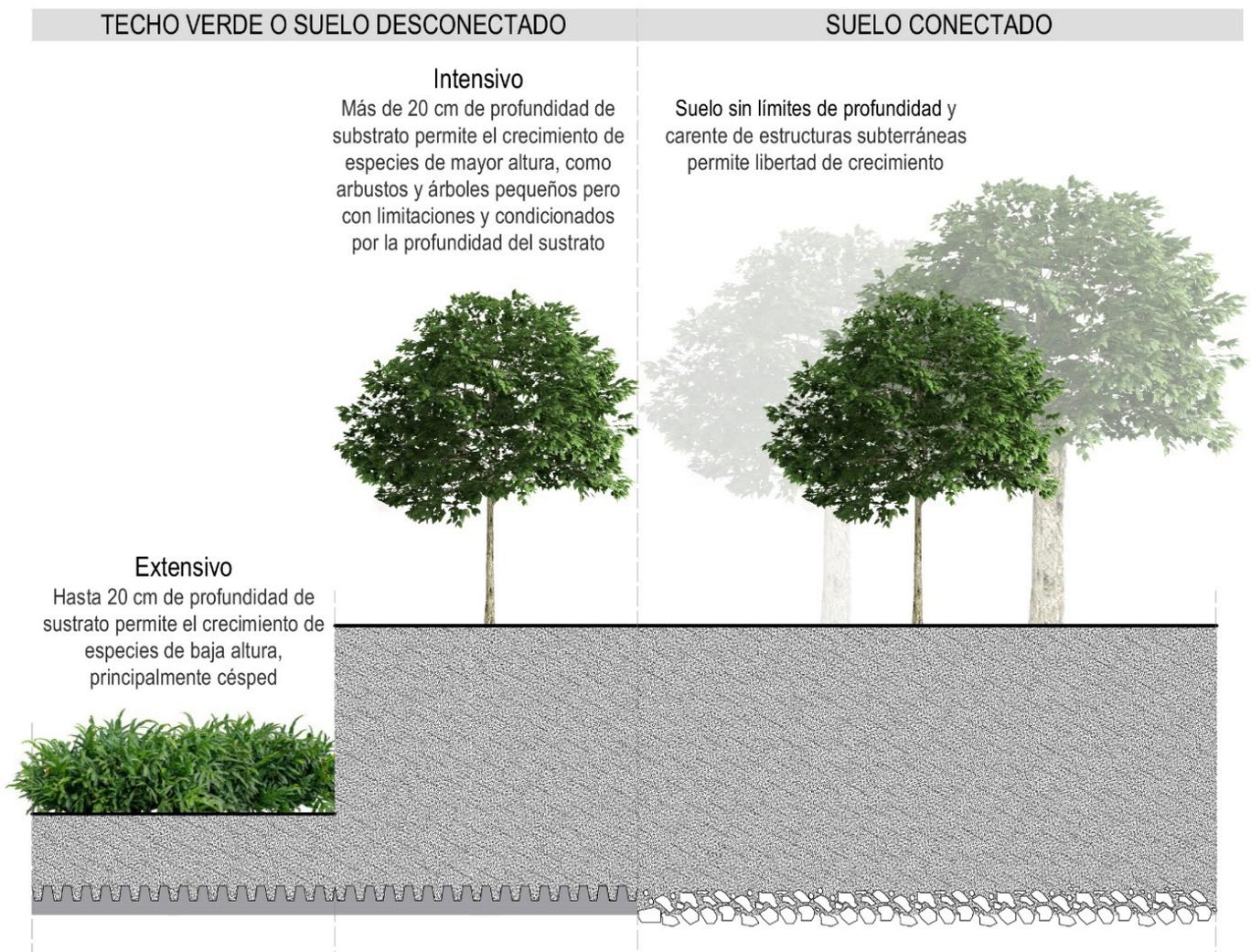
## 1.1 Contexto

Lima es la tercera capital en el mundo más vulnerable al cambio climático (MINAM, 2020). Por su posición geográfica, la ciudad experimenta altos índices de radiación ultravioleta (de hasta 13 puntos) (Ccora, 2015). Y al encontrarse en la costa desértica del Perú, tiene un clima hiperárido (Kotteck et al, 2006) con niveles de lluvia extremadamente bajos que podrían decrecer con el cambio climático (SENAMHI, 2009). Adicionalmente, muchas zonas urbanas enfrentan los efectos de ICUs locales (Teruya Revilla, 2016), lo que podría ser exacerbado por los efectos del cambio climático. Por ello, muchos distritos consideran que Lima es principalmente vulnerable a las sequías y olas de calor (PROACC, 2018) sobre otras amenazas ambientales.

Con más de 10 millones de habitantes, Lima cuenta con pocas áreas verdes urbanas distribuidas desigualmente por toda la ciudad (Portugal del Pino et al., 2020). Los distritos más afluentes tienen aproximadamente 40 veces más área verde por persona (MINAGRI & ANA, 2018). La disponibilidad limitada de agua para su irrigación ha conllevado a su sobreprotección en muchos distritos, y así ha restringido su acceso a los ciudadanos sobre todo en espacios públicos. Además de limitar la dotación de los SEs culturales, como el recreo y la cohesión social, esto ha limitado el rol de las áreas verdes a una función meramente decorativa (Ferrer et al., 2014).

Ante la intensa demanda por densificar la ciudad en altura, algunas directrices de construcción (sección 2.2.1) ven al incremento de la vegetación como un recurso para la mitigación del impacto de estos problemas. Nuevas 'ordenanzas verdes', por ejemplo, otorgan permisos para desarrollar niveles de densificación mayores al máximo per-

mitido, siempre y cuando se incremente el área de superficie vegetal dentro de una parcela. Las prácticas más comunes abarcan la implementación de vegetación indistintamente, tanto sobre suelo sin límites de profundidad ('Suelo conectado') o sobre techos verdes con sustratos extensivos e intensivos ('Suelo desconectado'), en áreas exteriores destinadas tanto al uso privado como público. Se intenta reducir el consumo de agua para irrigación, a través del xeropaisajismo (jardines secos) y/o sistemas de riego inteligentes, los cuales - en combinación con superficies de alto albedo - pueden facilitar la obtención de certificaciones internacionales de construcción sostenible.



**FIGURA 1.** Ejemplos de clasificación de suelo según profundidad

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Comparación de perfiles climático-urbanos

Para corroborar la necesidad de adaptar la herramienta a las condiciones locales se realizó una revisión de literatura de material relacionado al GAR. Se revisó documentación pública, provista por autoridades locales como manuales, reportes y documentos referenciales, así como,

publicaciones científicas, con el objetivo de identificar diferencias entre las preocupaciones ambientales de cada ciudad, así como en sus estrategias para superarlas.

Adicionalmente, se desarrolló una comparación de la densidad poblacional de cada ciudad, y del nivel anual promedio de lluvias y clasificación dentro del sistema Köppen-Geiger para determinar la condición de aridez. Una diferencia significativa entre Lima y las nueve ciudades llevaría a corroborar la necesidad de adaptación indicada por Miranda et al. (2015).

## 2.2 Construcción de un GAR para Lima

Para establecer a los componentes finales del GAR-Lima, es decir, cada objetivo ambiental (o SE), Práctica y Factor Final (FF) se utilizó el método presentado por Keeley (2011), como la base para determinar los factores del caso original de la herramienta: el *Biotope Area Factor - BAF* (Berlín). Este consiste en una 'Evaluación de Contribución Ambiental' (ECA) y se basa en una matriz de correlación entre Prácticas (variables verticales) y SEs (variables horizontales) (Figura 2). A cada Práctica se le otorgó un Puntaje Parcial (PP) dependiendo de su nivel de contribución a la dotación de un SE en específico. La suma de PPs definiría a los Factores Finales (FFs).

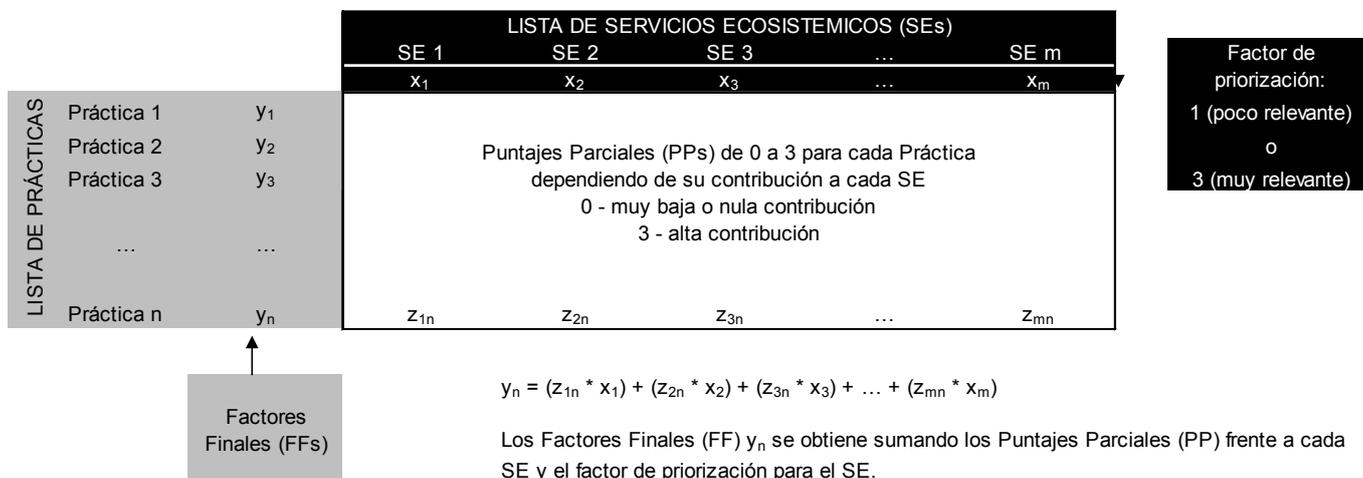


FIGURA 2. Formato ECA en base a la matriz de Keeley (2011)

### 2.2.1 Variables horizontales: Servicio ecosistémicos relevantes para Lima

Para determinar la lista de SEs se utilizaron tres recursos. Se utilizaron los resultados de una encuesta local desarrollada por PROACC (2018), que determina cuáles son los principales peligros climáticos de Lima en base a la opinión de 23 (de 43) gobiernos locales de Lima Metropolitana.

Posteriormente, se corroboró esta información con los objetivos ambientales indicados explícitamente en las principales directrices oficiales de construcción y desarrollo urbano local (Prieto, s.f.; Congreso del

Perú, 2013; GP y MVCS, 2006; GP et al., 2011; GP et al, 2016; MINE-DU, 2008); y certificaciones de edificación sostenible (USGBC, 2019; IFC, 2018; BRE Global, 2017; Fondo MIVIVIENDA, 2020) que forman parte de recientes 'ordenanzas verdes' e incentivos de sostenibilidad (MM, 2020; MSB, 2019; MSI, 2016; MSI, 2019).

Finalmente, esta información fue contrastada con las estadísticas descritas en la sección 1.1 y observaciones *in situ* y conocimiento previo sobre el contexto local.

Estos pasos fueron considerados suficientes para obtener una idea inicial, pero válida, de los principales SEs a incluir en la herramienta. Involucran dimensiones tanto ambientales como culturales, de acuerdo con la clasificación de Alcamo et al. (2003).

### **2.2.1.1 Factor de Priorización**

A diferencia de Keeley (2011) se integró un factor adicional: Factor de Priorización. Este asigna un valor relativo a cada SE y distingue con el valor 1 a los SEs de menor relevancia, y con el triple del valor (3) a los SEs con mayor relevancia. Dicha relevancia se determinó en base a las preocupaciones en común identificadas entre las tres fuentes anteriormente mencionadas en la sección 2.2.1.

Se integró con el objetivo de elevar significativamente el valor de los FFs de aquellas Prácticas que resultaran más convenientes para Lima. Es decir, los PPs de las Prácticas que resultaran más convenientes para los SEs más relevantes para Lima, aumentarían su PPs 3 veces más, llevándolos a obtener FFs claramente más altos que aquellas Prácticas menos convenientes, generando así una escala más contrastante.

### **2.2.2 Variables verticales: Prácticas relevantes para Lima**

Al ser el GAR una herramienta basada en el metraje de superficies urbanas, el concepto de 'Práctica' se estableció como una referencia al material que cubre la superficie de un área (por ejemplo 'Asfalto'), así como al de una medida o actividad que se aplica dentro de un área (por ejemplo: 'Área para agricultura urbana'). Por ello, para optimizar el mecanismo de cálculo del GAR resultante se incorporó el sistema *Layering*, en base a la experiencia exitosa de la ciudad de Malmö, como lo indica Kruuse (2011).

Para determinar la lista de Prácticas se desarrolló una revisión de la documentación indicada en la sección 2.2.1. De aquí se extrajeron todas las Prácticas indicadas como parte de intervenciones de jardinería en exteriores y/o paisajismo y coberturas para áreas libres, techos y terrazas, incluyendo sus formas de irrigación si aplicaba. Consistentemente con el sistema *Layering*, se agruparon de acuerdo con atributos en común, por ejemplo, por tipos de superficie, unidades de veg-

etación y de sombra y también de acuerdo con su función en el espacio urbano - por ejemplo, destinado al uso público, al fortalecimiento de hábitats, a la conservación de agua o de árboles, entre otros.

### **2.2.2.1 Cálculo de Puntajes Parciales (PPs)**

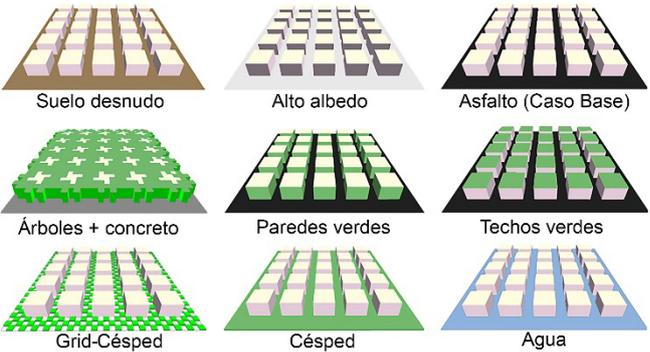
Al ser este estudio un marco preliminar, la asignación de PPs se basó en la revisión de evidencia científica y práctica publicada en artículos científicos, provenientes de plataformas electrónicas de investigación como *Elsevier* y *Research Gate*. Se revisaron diferentes conclusiones sobre la contribución de cada Práctica a un SE con el objetivo de revisar las ventajas y desventajas y formar una sola conclusión, que se reflejaría en el PP. Estas conclusiones derivan de experimentos científicos en contextos similares o locales y/o del conocimiento de expertos locales e internacionales.

Debido a la relevancia del SE: regulación térmica, indicada por PRO-ACC (2018), los PPs de las Prácticas frente a este SE se complementaron con un análisis microclimático con ENVI-met 4.4.5. Este software permite la simulación computacional del microclima local a través de un modelo 3D. Ha sido un método utilizado en un número significativo de estudios científicos sobre infraestructura verde, y su aplicación científica es aceptable si se conocen sus limitaciones (Tsoka et al., 2018; Ahmadi Venhari et al., 2019).

### **2.2.2.2 Determinación del potencial de regulación térmica exterior**

Se utilizó para la simulación un modelo simplificado de una morfología urbana típica de una zona muy densificada del área central urbana de Lima (Figura 3). Se estableció un Caso Base, compuesto por edificios de concreto, techos de terracota (ladrillo pastelero) y calles totalmente asfaltadas. En base a este escenario se generaron otros escenarios. A unos se le añadieron SbN como techos y paredes verdes, considerando sus diferentes profundidades de sustrato (extensivo e intensivo).

A otros solo se les modificó la cobertura de la calle. Por ejemplo, se reemplazó el asfalto por suelo desnudo, y en algunos casos se les pintó de blanco (Alto albedo). En otros se reemplazó por coberturas más permeables, como el Grid-césped o con superficies completamente vegetales, llegando al extremo caso de evaluar una posible configuración urbana con un exacerbado uso de elementos de agua en las calles.

<b>Estación</b>	Campo de Marte, Jesús María 15072, Perú (12.07;77.04)	 <p>Ejemplos de diferentes tipos de cobertura de superficie para el análisis</p>	
<b>Fecha indicada para la simulación</b>	23/12/2019 (día 'más largo del año')		
<b>Tiempo de simulación</b>	Inicio: 18:00 22/12/2019. Simulado por 30 horas (6 primeras horas para estabilizar)		
<b>Parámetros</b>	Simple forcing; advanced simulation type		
<b>Viento a 10m</b>	5m/s, 225° del norte		
<b>Temperatura Atmósfera</b>	Min.: 17°C   Max.: 24°C (Eisenberg et al., 2014)		
<b>Humedad relativa a 2m</b>	Min: 79%   Max: 88% (Eisenberg et al., 2014)		
<b>Punto de medición</b>	Coordenada 14,14	<b>Medidas escenario</b>	Bloques 20m x 20m H=15m; Ancho de calle=10m
		<b>Tamaño modelo</b>	170m x 170m x 40m

**FIGURA 3.** Caracterización del análisis con ENVI-met

Al ser la temperatura del aire (TA) uno de los parámetros que influye en la generación de ICUs, se utilizó la variación de la temperatura producida por la materialidad del modelo como un indicador del impacto en la regulación térmica. Es decir, un efecto de enfriamiento producido por la superficie de calle, en comparación al efecto producido por la superficie de calle del Caso Base, se traduciría en un impacto positivo sobre la TA.

Dicho impacto se calculó restando la TA promedio registrada ese día, de la TA promedio registrada al medir sobre la superficie de las calles del escenario (en la zona central del modelo a nivel peatonal: 2.50 m (sobre el nivel de la calle o del techo, en el caso de techos verdes).

Los resultados fueron ordenados de menor a mayor, y posteriormente agrupados dentro de 4 grupos de acuerdo con la proximidad de sus valores. Cada grupo fue finalmente encajado dentro de la escala de puntuación definida para los PPs (de 0 a 3 puntos),

### 2.2.3 Cálculo de Factores Finales (FFs)

La escala cualitativa de calificación de Keeley (2011) (indicada como de 'alta' contribución y 'baja' contribución) fue reemplazada por una escala cuantitativa equivalente, en donde '0' equivale a una 'muy baja o nula' contribución, y '3', a una 'alta' contribución. Esto facilitó el desarrollo de conclusiones numéricas.

A diferencia de Keeley (2011), estos PPs fueron multiplicados adicionalmente por su correspondiente Factor de Priorización, para así obtener el FF de cada Práctica. Sin embargo, dichos FFs fueron posteriormente convertidos en sus valores equivalentes solo para encajar dentro de la típica escala del GAR: de 0 a 1.

## 2.2.4 Medición del impacto del GAR-Lima

Para observar cómo la herramienta contribuye a la cuantificación de la escala de beneficios (SEs), principalmente a la conservación del agua y la regulación térmica, se aplicó el GAR-Lima y se calculó el GAR-Score de diferentes proyectos locales. Primero, se aplicó a 3 edificios con diferentes tipos de superficie (Tabla 1) siendo uno de ellos ('Palas') el caso al cual Miranda et al. (2015, p.110) aplicó el BAF. De acuerdo con los autores y la publicidad del proyecto, este edificio logró "la mayor cantidad de área natural posible, aplicando la normativa actual" y se considera "sostenible". Los otros dos proyectos fueron seleccionados en base a datos públicos en donde a uno también se le consideraba 'sostenible' y a otro 'tradicional' (o construido fuera de directrices de sostenibilidad).

**TABLA 1.** Perfil de proyectos

Nombre	Olavide	Nombre	Palas	Nombre	Huaylas
Ubicación	San Isidro	Ubicación	Chorrillos	Ubicación	Chorrillos
Año	2020	Año	2014	Año	aprox. 2005
Tipo	Residencial	Tipo	Residencial	Tipo	Residencial
Área	ca. 360 m2	Área	2574.40 m2 (Miranda et al., 2015)	Área	ca. 1882 m2
Considerado como	SOSTENIBLE (de acuerdo con Anexo N°04 y/o N°05 de SI-01)	Considerado como	SOSTENIBLE (de acuerdo con Inversiones Tarpuy, 2014)	Considerado como	TRADICIONAL (debido a la edad del edificio)

Posteriormente, se eligió el de arquitectura exterior más simple: 'Olavide', para crear otras combinaciones de superficies (al azar), pero considerando su potencial presencia en el contexto local, como, por ejemplo, superficies con vegetación ausente por falta de mantenimiento. También se priorizó la integración de superficies tanto sensibles, como no sensibles, al agua y clima como con superficies duras o con escasa vegetación.

Al no proponerse un GAR-Target, el universo de casos fue considerado suficiente para observar la correlación entre los GAR-Scores y la concepción de la sostenibilidad local, así como de la proporción de superficie vegetal con la calidad urbana exterior.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Diferencias entre Lima y otras ciudades**

Las condiciones climático-urbanas entre las nueve ciudades y Lima resultaron con diferencias significativas - tanto en las preocupaciones ambientales y estrategias, así como en el contexto climático.

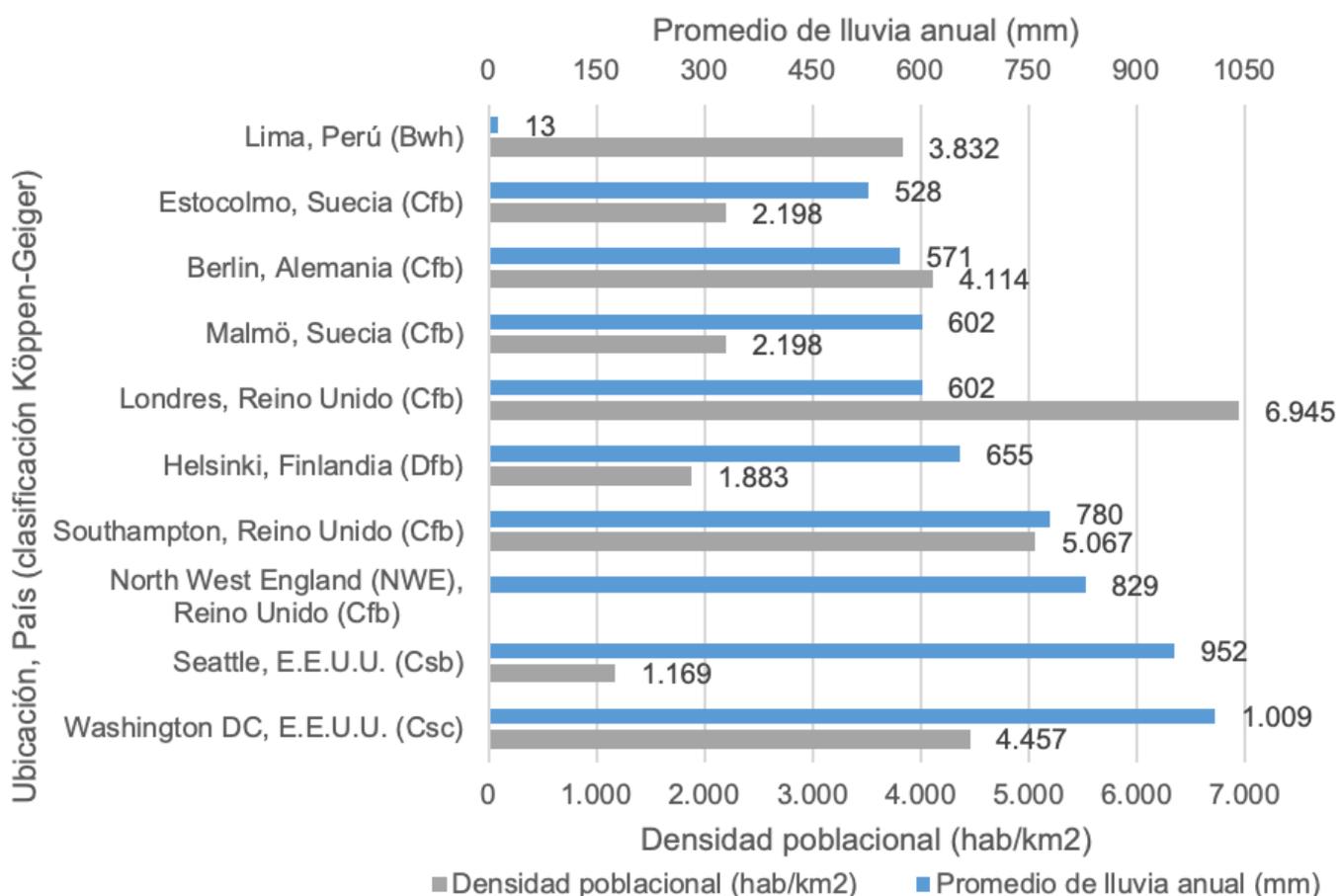
Si bien se identificaron 12 SEs de interés entre todas las ciudades (Tabla 2), muy pocos casos incluyeron a la conservación del agua y regulación térmica. Entre estos se identificaron adicionalmente diferencias en la forma en cómo los SEs eran alcanzados. Por un lado, se observaron pocas Prácticas para la generación de sombra y/o para la regulación de la temperatura. Por el otro, las estrategias relacionadas a estos aspectos indicaban utilizar el agua de lluvias, tanto para la irrigación durante periodos de sequía, como para el enfriamiento a través de fuentes de agua.

**TABLA 2.** Objetivos ambientales y/o servicios ecosistémicos indicados por Lima y las nueve ciudades

SERVICIO ECOSISTÉMICO	FACTOR DE PRIORIZACIÓN (ECA)	LIMA	BERLIN	HELSINKI	LONDRES	MALMÖ	NOROESTE DE INGLATERRA (NWE)	SEATTLE	SOUTHAMPTON	ESTOCOLMO	WASHINGTON DC	DEFINICIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN BASE A DIRECTRICES LOCALES DE CONSTRUCCIÓN Y ORDENANZAS DE SOSTENIBILIDAD			
SERVICIO ECOSISTÉMICO	Estética	✓		✓			✓	✓		✓	✓	Soporte al embellecimiento del entorno urbano. Incluye elementos naturales como ornamento y decoración; y facilitación de emociones positivas y experiencias sensoriales.			
		✓		✓		✓				✓	✓				
		3		✓						✓			Facilitación de actividades sociales, deporte y ocio, accesibles (sin barreras) para uso común y público, visibles a nivel peatonal. (Para el ECA estos SES se agruparon)		
		Recreación												Facilitación de superficies para la producción de energía renovable	
		Cohesión social													
		Energía limpia	1	✓									✓		
		Agricultura urbana	1	✓		✓			✓				✓	✓	Facilitación de superficies para agricultura urbana
		Conservación del agua	3	✓		✓			✓				✓	✓	Selección de especies de bajo consumo de agua, integración de sistemas de riego tecnificado y/o reutilización de agua de lluvias
		Reducción de contaminación de aire	-	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	Reducción general de la contaminación del aire, sin especificar fuente y tipo de contaminante
		Reducción de inundaciones	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	Soporte a la retención, detención, infiltración y drenaje de agua de lluvias
Reducción de ruido	-			✓	✓		✓			✓	✓	Reducción general del ruido, sin especificar fuente y tipo de contaminante			
Regulación térmica	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Reducción de la temperatura del aire e islas de calor			
Biodiversidad	-	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Incremento general de la diversidad de especies. No indica si vegetal y/o animal			
Fortalecimiento de Hábitats	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	Protección de hábitats de insectos o pájaros			
Preservación del proceso natural del ecosistema	1	✓		✓			✓			✓	✓	Reducción de introducción de especies no locales y/o preservación de árboles			

Fuentes: Lima (ver sección 3.2.1); Berlín (Landschaft Planen und Bauen and Becker Gieseke Mohren Richard, 1990); Helsinki (City of Helsinki Environment Centre, 2016); Londres (Grant, 2017); Malmö (Krusse 2011; Stockholms stad, 2015); Noroeste Inglaterra (Community Forest Northwest, 2010); Seattle (First, 2008; City of Seattle, 2020); Southampton (Southampton City Council, 2015); Estocolmo (Stockholms stad, 2015; Fansa, 2019); Washington DC (Department of Energy and Environment, 2017)

No obstante, hubo diferencias más determinantes para concluir que ninguno de los nueve GAR podría aplicarse directamente sin previa adaptación en Lima. Lima fue la ciudad considerablemente más árida (Figura 4). Por ello, a pesar de tener una densidad poblacional media en comparación a los nueve casos, se justifica la necesidad indicada por Miranda et al. (2015) de adaptar la herramienta a las condicionantes de la ciudad.



Fuente: SENAMHI, 2020; Weather Atlas, 2020; Kottek et al., 2006, City Population, 2020. Información de North West England para Manchester.

**FIGURA 4.** Densidad y promedio de lluvia anual (mm) y clasificación Köppen-Geiger de cada ciudad

### 3.2 Componentes del GAR-Lima

La Tabla 3 muestra en resumen los resultados completos del ECA, tanto a la selección de SEs, Prácticas y sus respectivos PPs y FFs.

#### 3.2.1 Servicios Ecosistémicos

Como se observa en la Tabla 2, se identificó que las directrices pretenden facilitar el alcance de 11 de los 12 SEs indicados por las nueve ciudades, aun así, los 12 SEs fueron introducidos en el ECA y en base a la información revisada se jerarquizaron como se indica en la Tabla 2.

Sin embargo, solo 9 SEs pudieron ser finalmente considerados (Tabla 3). A pesar de la relevancia de SEs como la 'Reducción de la con-

taminación', 'Biodiversidad' y 'Reducción de ruido', estos fueron descartados debido a la alta generalidad con la que se describían en la literatura revisada, en muchos casos con ausencia de parámetros medibles. Por ejemplo, se indicaba usar a la vegetación para mejorar la calidad de aire sin especificar si por filtración o deposición. Similarmente, se mencionaba el fortalecimiento de la biodiversidad sin especificar qué especie en particular (vegetal o animal).

### 3.2.2 Lista de Prácticas

Como se observa en la Tabla 3, la lista de Prácticas resultó con diferentes tipos de superficies: vegetales y no vegetales - incluyendo SbN como 'Pared verde' o 'Pantano' como mecanismo para el tratamiento de aguas grises. Las SbN identificadas se agruparon principalmente en la sección 'Superficies'. La SbN: 'Techo verde' - altamente mencionada en la documentación revisada - se integró de forma 'deconstruida' ya que puede ser considerada como una 'Superficie', en 'Suelo desconectado' y, dependiendo de la profundidad del sustrato, puede ser una 'Superficie Funcional' que facilita la dotación de SEs como 'Agricultura urbana' y 'Cohesión social y recreación'. Al incorporar el sistema *Layering* los beneficios derivados no solo de la superficie (en este caso vegetal), sino también de otras funciones o capacidades del sistema dentro del área, pueden ser considerados - no obstante, también sus limitaciones - lo cual optimiza la efectividad del cálculo de la herramienta.

#### 3.2.2.1 Puntajes Parciales (PPs)

Los Puntaje Parciales (PP) resultantes se muestran en la Tabla 3. La Tabla 4 muestra los criterios elegidos para establecerlos. A algunas Prácticas no se les otorgó un PP, principalmente porque su impacto no fue directo - por ejemplo, la contribución de 'Panel solar fotovoltaico' a la 'Agricultura Urbana' o al 'Fortalecimiento de Hábitats'. Sin embargo, esto no influyó en el cálculo de sus FFs, ya que matemáticamente es considerado como equivalente a 0.

**TABLA 3.** Evaluación de Contribución Ambiental (ECA)

GRUPO DE PRACTICA	TIPO DE PRACTICA	PRACTICA/ SUPERFICIE	FACTOR FINAL	FACTOR RESULTANTE	CULTURAL		ABASTECIMIENTO			REGULACIÓN			SOPORTE	
					Estética	Cohesión Social / Recreación	Energía limpia	Agricultura urbana	Conservación del agua	Reducción de inundaciones	Regulación térmica	Fortalecimiento de Hábitats	Preservación del proceso natural del ecosistema	
					1	3	1	1	3	1	3	1	1	
SUPERFICIES	Permeable	Suelo natural / Suelo desnudo o tierra expuesta	0.70	19	2	0	0	3	3	3	1	2		
		Grava	0.63	17	2	0	0	3	3	3	1	0		
		Pared verde	0.33	9	3	0	1	1	0	0	0	3		
		Cubresuelo	0.67	18	3	0	1	3	3	2	2	3		
		Grass	0.56	15	3	0	0	0	3	3	1	2		
		Mulch (mantillo, humus)	0.70	19	2	0	0	3	3	3	1	2		
		Arena	0.70	19	2	0	0	3	3	3	1	2		
		Superficie verde-grfs (ejem. grass block, grass, grass grid, etc.)	0.41	11	2	0	0	1	2	2	1	1		
		Pavimento permeable (de juntas no selladas)	0.52	14	0	0	0	3	3	2	1	0		
		Grass artificial	0.41	11	2	0	0	3	3	3	1	0		
		Asfalto	0.33	9	0	0	0	3	0	0	0	0		
		Pavimento impermeable (juntas selladas)	0.33	9	0	0	0	3	0	0	0	0		
		Ladrillo (terracot)	0.33	9	0	0	0	3	0	0	0	0		
		Panel solar fotovoltaico	0.56	15	0	0	3	3	0	0	1	0		
		Deck de madera	0.52	14	2	0	0	3	0	0	1	0		
Cuerpo de agua (fnt: fuentes, espejos de agua, pozos, etc)	1.00	27	3	0	0	3	3	3	3	3				
Arbol	0.78	21	3	0	0	1	1	3	3	3				
Arbusto	0.67	18	3	0	0	1	1	3	2	3				
UNIDADES DE VEGETACION	Sombra	Estructura que da sombra (no a través de vegetación)	0.48	13	1	0	3	0	1	1	0			
		Estructura que da sombra basado en vegetación (ejempl: techo de para, etc)	0.48	13	3	0	1	0	2	2	1			
UNIDADES DE SOMBRA	Sombra	Estructura que da sombra con paredes solidas	0.70	19	1	3	3	0	2	2	0			
SUPERFICIE FUNCIONAL	Áreas de uso exclusivo	Área (privada) donada y destinada a recreación pública (ejem. parklet con entretenimiento, terrazaboliveard de juegos privados pero abierto a uso público no comercial) o área destinada a recreación semi-privada (ejem. zona de juegos en condominio)	0.33	9	3	0	0	3	0	1	0			
		Área destinada a interacción social pública en área privada (ejem. zona de bancas privadas para uso público) o áreas destinadas a interacción social en áreas semi-privadas (ejem. bancas, taller comunal, o espacios de encuentro dentro de multifamiliares)	0.33	9	3	0	0	3	0	0	0			
		Área con vegetación destinada a producción de alimentos (ejem. jardín comunal para agricultura urbana)	0.44	12	3	3	0	3	0	0	0			
		Área con vegetación inaccessible, empedrada y prohibida al uso público pero visible a calle (pública)	0.11	3	1	0	0	0	0	0	0			
		Área destinada, reservada y exclusiva para la reproducción y supervivencia de insectos o animales urbanos	0.11	3	0	0	0	0	0	0	3			
		Áreas de acceso y uso público	0.33	9	3									
		Donación de área privada con sombra en dirección pública (ejem. jardín privado en relleno con árboles sombreado calle peatonal)	0.33	9	3									
		Conexión y profundidad de suelo	0.22	6	2				3	0	0	3		
		Suelo desconectado - Suelo profundo (fnt: techo verde intensivo, más de 20 cm de profundidad)	0.07	2	1				0	0	0	2		
		Suelo desconectado - Suelo superficial (fnt: techo verde extensivo, de 0 a max. 20 cm de profundidad)	0.04	1	1				0	0	0	1		
		Demande de agua de la vegetación	0.33	9	6				3	2	3			
		Área con vegetación tolerante a sequías (ejem. xerofitas, etc.) o de mínima irrigación	0.22	6	3				2	1	0			
		Área con vegetación de riego tradicional con agua reciclada o tratada	0.11	3	3				1	0	0			
		Área con vegetación de riego mejorado con agua potable	0.00	0	0				0	0	0			
		Área con vegetación de riego tradicional con agua potable	0.00	0	0				0	0	0			
Preservación de árboles	0.22	6	3				1	1	1	3				
Área de arbolado preservado/conservado	0.22	6	3				1	1	1	3				
Superficies reflectivas	Área con alto albedo (ejem. alto SRL, techo blanco)	0.11	3						1					

FACTORES DE PRIORIZACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

x Puntaje parcial No aplica / No evaluado

**TABLA 4.** Justificación de Puntajes Parciales

Servicio ecosistémico	Escala de evaluación	Fuentes consultadas
Estética	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provee experiencia directa con la naturaleza (condición inherente humana -principios de Biofilia) - 3 puntos</li> <li>• Material natural, imitación de naturaleza (no incluye vegetación) - 2 puntos</li> <li>• Provee sentido de confort y protección - 1 punto. Si con cobertura vegetal - 3 puntos adicionales</li> <li>• Otro material y/o superficie: estética sujeta a apreciación individual - 0 puntos</li> </ul>	Kellert & Calabrese, 2015; Beatley, 2016; Gehl, 2010, p.140-157
Recreación y Cohesión Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promoción de actividades recreativas o sociales o la agricultura urbana - 3 puntos</li> <li>• Acceso a la naturaleza solo visualmente, pero con áreas vegetales inaccesibles, exclusivamente ornamentales - 1 punto</li> <li>• Área privada donada para espacio público o área de sombra pública - 3 puntos</li> </ul>	Jennings & Bamkole, 2019; Ferrer, 2014, p.136-153; Gehl, 2010, p.147-161; Gehl, 2016; Gómez-Baggethun et al., 2013; Vogt et al., 2017; Azunre et al., 2019; James et al., 2016; Jönsson, 2016
Energía Limpia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provisión de energía solar - 3 puntos</li> <li>• No provee energía solar - 0 puntos</li> </ul>	Espinoza et al, 2019; IEA, 2020; Tolderlund, 2010, p.30; Bazán et al., (2018)
Agricultura Urbana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área acondicionada para producción de alimento de forma social y comunitaria - 3 puntos</li> </ul>	World Bank, 2013; MC, 2016; Azunre et al., 2019
Conservación del Agua	<p>Escala principal:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere o requiere mínima irrigación o tolerante a la sequía o contribuye al reciclaje de agua - 3 puntos</li> <li>• Requiere irrigación - 1 punto</li> <li>• Requiere mucha irrigación/basado en agua - 0 puntos</li> </ul> <p>FUNCIONALIDAD</p> <p>Escala:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si usa mecanismo de alta eficiencia con agua tratada - 2 puntos</li> <li>• Si usa riego estándar con agua tratada - 1 punto.</li> <li>• Si usa agua potable - 0 puntos</li> </ul>	Yang & Wang, 2017; Nouri et al., 2019; Brescia de Fort et al., 2010; Arup, 2018; Hagen et al., 2017; Eisenberg et al., 2014; Municipalidad Metropolitana de Lima, 2013;
Reducción de Inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite infiltración - 3 puntos</li> <li>• Permite infiltración parcial - 2 puntos</li> <li>• Superficie pavimentada o que no permite infiltración - 0 puntos</li> </ul>	Keeley, 2011, p.942; Wilson, 2008, p.6-12; PROACC, 2018; Siña, 2016
Regulación Térmica	Ver sección 3.2.2.2	
Fortalecimiento de Hábitats	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De composición vegetal o principalmente natural y que facilita o acondiciona natural o intencionalmente a la integración de otros sistemas/funciones naturales - 3 puntos</li> <li>• De composición no vegetal pero natural y que facilita o acondiciona a la integración parcial o con limitaciones de otros sistemas/funciones naturales - 2 puntos</li> <li>• Facilita o acondiciona a la integración de otros sistemas/funciones naturales con muchas limitaciones. Baja probabilidad o intención para el SE -1 punto</li> <li>• No soporta, no acondicionado para la integración de otros sistemas/funciones naturales - 0 puntos</li> </ul>	Hemeier, 2005; Sukopp & Weiler, 1988; Chepkemoi, 2017; Keeley, 2011, p.942
Preservación del proceso natural del ecosistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción que no perturba la condición existente o previa - 3 puntos</li> </ul>	Hauer et al., 2020; MML, 2013; The Morton Arboretum, 2020;

### 3.2.2.2 Análisis microclimático

#### 'Superficies' y 'Unidades de vegetación'

Las calles con superficies duras como el 'Concreto' y 'Asfalto' (Caso Base), resultaron con el mayor efecto de calentamiento sobre la TA promedio y, por ende, con cero puntos como PPs.

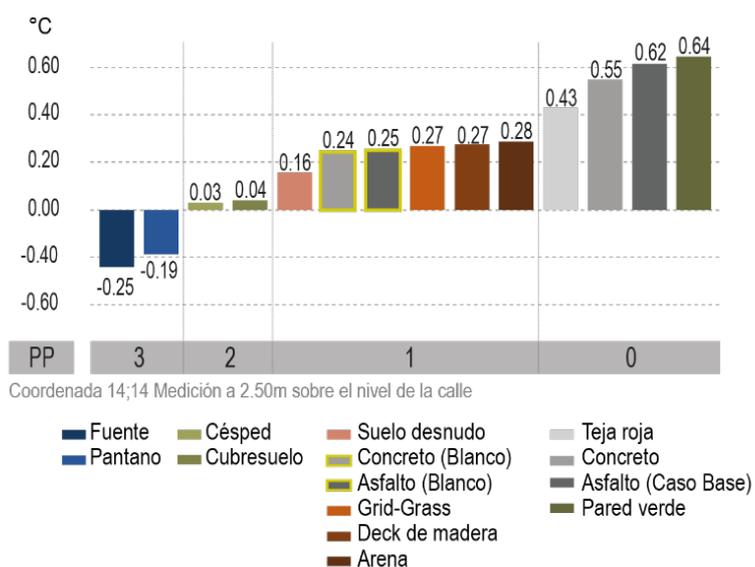
Las superficies basadas en cuerpos de agua ('Fuente' y 'Humedal de filtración' - como sistema de tratamiento de aguas grises) y 'Árbol' resultaron con los PPs más altos (3 puntos) porque se observó un efecto de enfriamiento considerablemente superior en comparación a las calles del Caso Base y otras superficies.

Las superficies restantes, tanto vegetales como no vegetales, resultaron con 2 y 1 puntos, dependiendo de su diferencia con el Caso Base (Figura 5). Dentro de este grupo - en comparación al Caso Base: 'Asfalto' (0.62 °C) - las superficies vegetales en general lograron un efecto de enfriamiento en todos los casos (por ejemplo, la colocación intensiva de 'Césped' redujo la TA de las calles hasta a 0.03 °C), con excepción a la SbN 'Pared verde' que resultó con un efecto prácticamente neutro (0.64 °C) en el modelo. Consecuentemente se le asignó un PP de cero puntos.

La colocación intensiva de 'Árbol' sobre otras superficies siempre tuvo un mayor efecto de enfriamiento comparado con la colocación intensiva de superficies vegetales como 'Césped', 'Cubresuelos' y 'Arbusto'. 'Árbol' logró una reducción promedio aproximada de 0.5 °C sobre la TA original, más allá de colocarse cubriendo superficies duras como 'Concreto' y 'Asfalto' o permeables como 'Suelo desnudo' y 'Césped'. El impacto en las calles de implementar techos verdes en el modelo resultó inconcluso (ver sección 4.2.3).

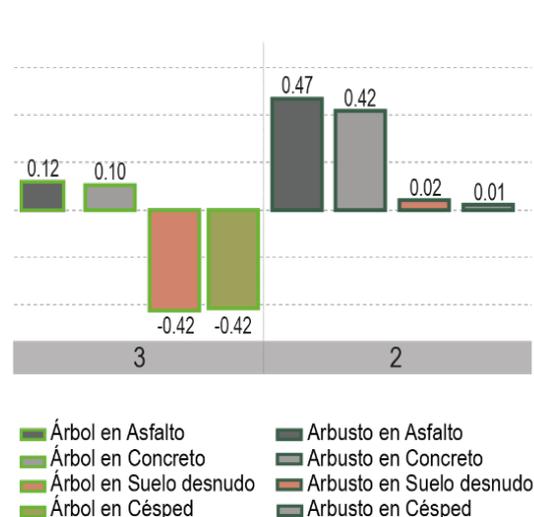
Por otro lado, el impacto de cambiar el albedo de las calles de 'Asfalto' y 'Concreto', a un SRI 100 (0.80 albedo y 0.90 emisividad) resultó en un efecto de enfriamiento considerable: una reducción aproximadamente de 0.62 °C a 0.25 °C y de 0.55 °C a 0.24 °C, respectivamente. Sin embargo, su impacto final (valor 0.25 °C y 0.24 °C) encajó dentro de la magnitud del grupo que recibió 1 Punto, por ello, se le asignó finalmente este PP.

## Superficies



Coordenada 14;14 Medición a 2.50m sobre el nivel de la calle

## Unidades de Vegetación



**FIGURA 5.** Diferencia promedio entre la temperatura del aire del ambiente y la temperatura generada por las Prácticas de 'Superficies' y 'Unidades de vegetación'

Por otro lado, la Tabla 5 muestra los PPs alcanzados por Prácticas de esta sección que no pudieron ser analizadas con ENVI-met, debido a ciertas limitaciones (ver sección 4.2.3). Sus PPs fueron asignados únicamente en base a evidencia científica y práctica.

**TABLA 5.** Justificación de Puntajes Parciales para 'Superficies' evaluadas solo en base a literatura

Puntaje Parcial	Práctica	Justificación
0	Césped artificial	Albedo muy similar al Césped, pero carece del efecto de evapotranspiración.
1	Panel solar fotovoltaico	Considerado como superficie dura No obstante, a pesar de tener un bajo albedo, no retiene, ni emite, ni devuelve la radiación solar, sino que la convierte en energía.
1	Mulch	No obstante, a pesar de tener comúnmente un bajo albedo, su capacidad de retención de humedad puede equiparar su potencial calentamiento.
1	Grava	Al ser permeable puede almacenar menos calor que una superficie dura (Osmond & Sharifi, 2017, p.7). Por ello se le consideró con el mismo puntaje que 'Arena' y 'Suelo desnudo'. Adicionalmente, tiene comúnmente un alto albedo, que podría beneficiar su capacidad de enfriamiento.

### Unidades de sombra

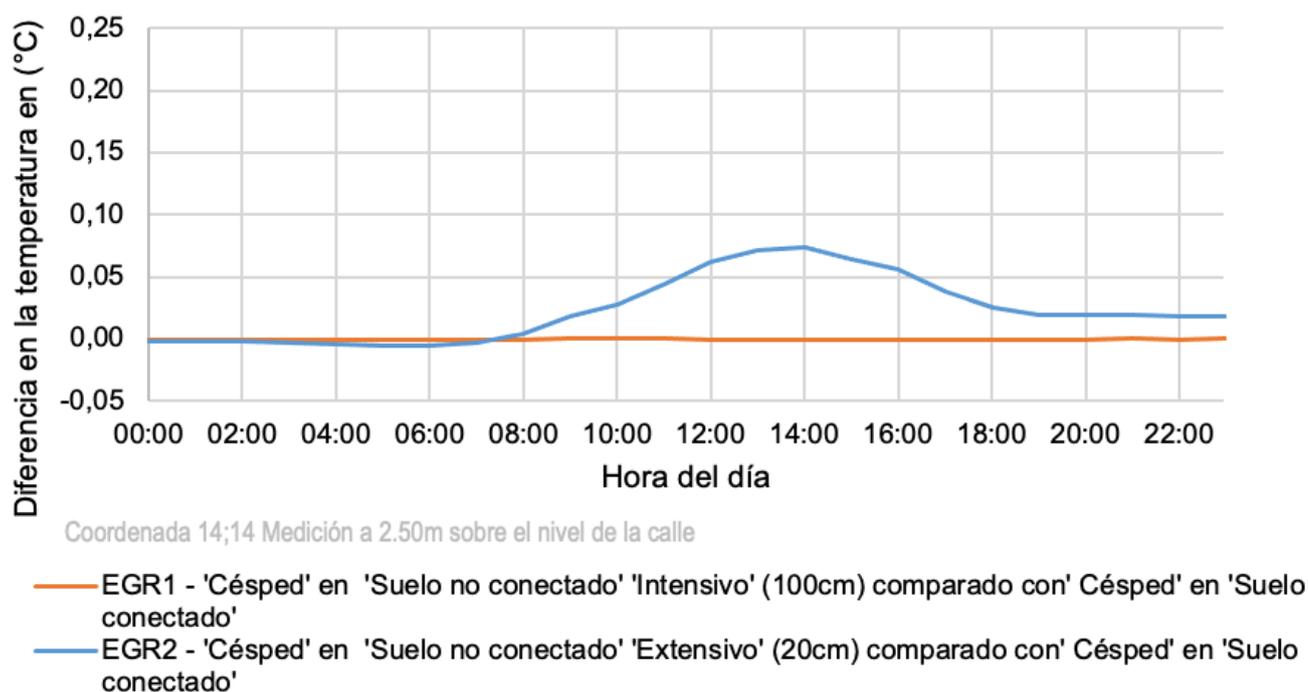
Estas Prácticas tampoco pudieron ser modeladas con ENVI-met por limitaciones del estudio (sección 4.2.3) y su justificación (Tabla 6) se basa solo en evidencia científica y práctica. Dentro de este contexto, se asignó solo 1 punto a 'Árbol preservado', para dar valor al potencialmente bastante desarrollado diámetro de copa (sombra) derivado de la posible madurez de la 'Unidad'.

**TABLA 6.** Justificación de Puntajes Parciales para 'Unidades de Sombra'

Puntaje Parcial	Práctica	Justificación
2	Sombra basada en la vegetación	El follaje provee sombra y evapotranspiración resultando en un efecto de enfriamiento (Duarte, 2016), pero probablemente este último suceda de manera limitada y/o este sujeto a la influencia de diferentes emisividades o capacidades de calor de otros materiales.
1	Sombra no basada en la vegetación	El enfriamiento por sombra se consideró condicionado por las propiedades térmicas de otros materiales.
2	Sombra basada en paneles solares	1 punto por la capacidad de absorber y convertir la radiación en electricidad y otro por la sombra.

### Conexión y profundidad de suelo

Como se ve en la Figura 6, el impacto del 'Suelo desconectado intensivo' resultó casi igual al de 'Suelo conectado'. El 'Suelo desconectado extensivo' generó un efecto casi insignificante de máximo 0.074 °C. Consecuentemente, no se generaron PPs por profundidades de suelo.



**FIGURA 6.** Diferencia en la temperatura del aire entre 'Césped' con diferentes profundidades de suelos

### 3.2.3 Factores Finales del GAR-Lima

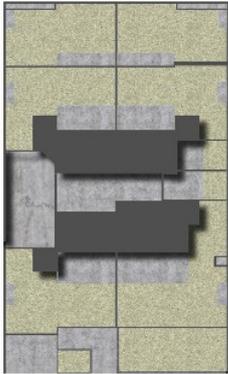
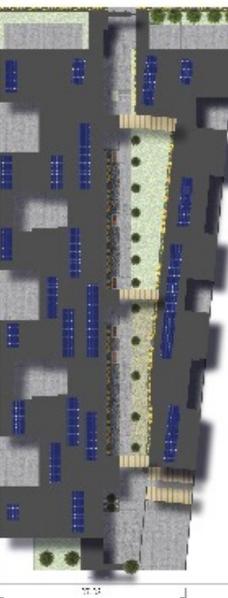
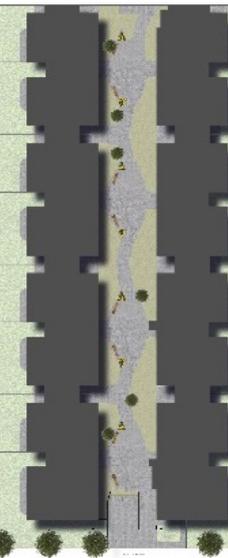
Como se muestra en la Tabla 3. La escala resultante de Factores Finales (FFs) muestra que tanto superficies vegetales como no vegetales alcanzaron FFs muy altos y bajos. Por ejemplo, la SbN: "Pantano" y "Árbol" obtuvieron los FFs más altos, 1.00 y 0.78, respectivamente; y "Suelo desnudo", "Mulch" y "Arena" alcanzaron 0.70.

Por otro lado, no todas las superficies vegetales recibieron altos FFs. "Pared verde" recibió un puntaje bajo (0.33), al nivel de superficies duras como "Asfalto" y "Concreto".

### 3.3 Aplicación

La Tabla 7 muestra que el proyecto construido bajo un enfoque "tradicional" resultó en un GAR-Score más alto que los otros dos edificios "sostenibles", a pesar de que no necesariamente tuvo más proporción de superficie vegetal.

**TABLA 7.** GAR-Scores obtenidos con el GAR-Lima

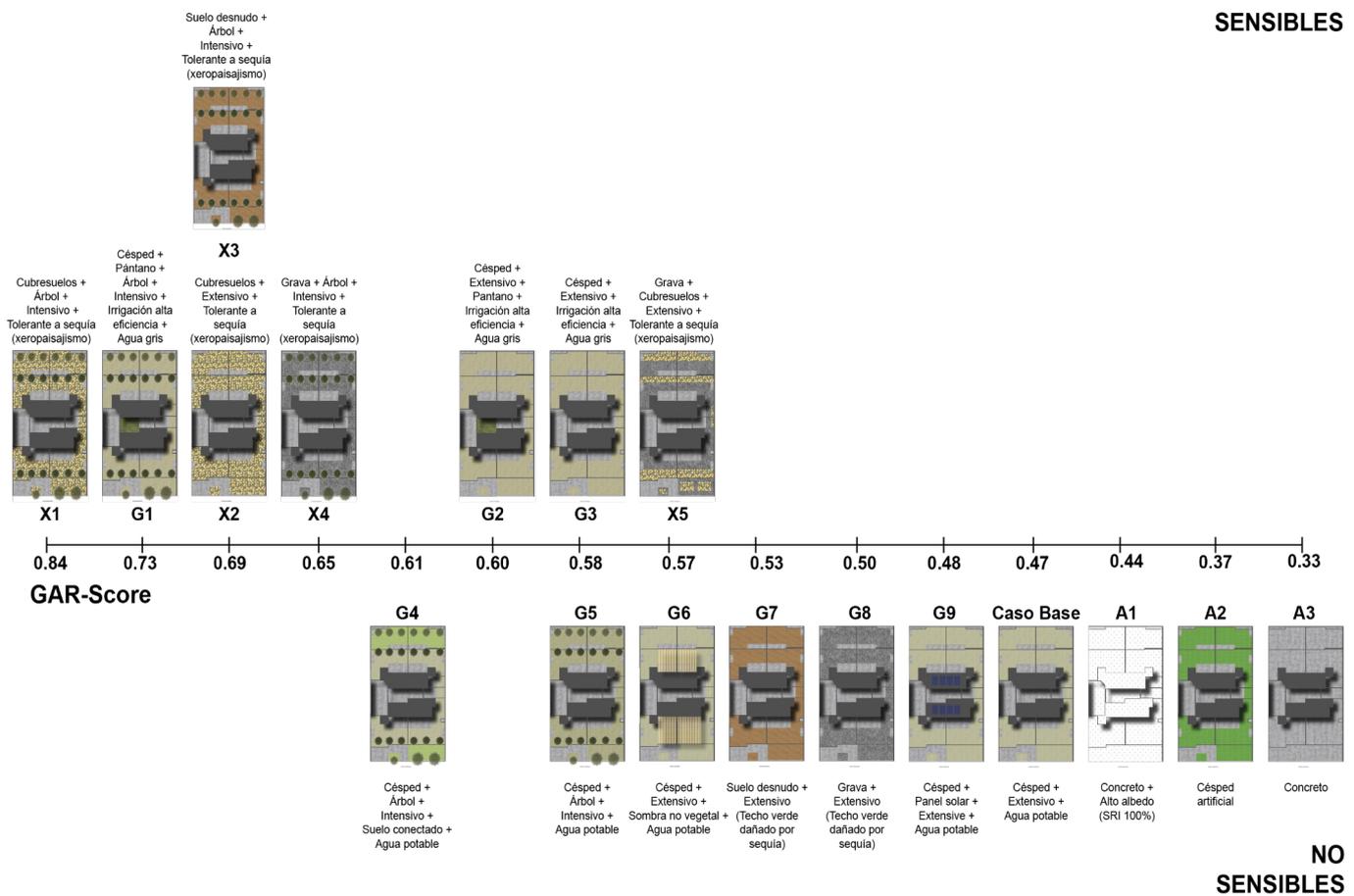
Nombre	Área (m <sup>2</sup> )	% Superficie Vegetal	Consideración	GAR-Score	
	Olavide	359.5	50.1%	Sostenible	0.47
	Palas	2574.39	12.7%	Sostenible	0.47
	Huaylas	4881.5	38.5%	Tradicional	0.50

Por otro lado, la Figura 7 muestra que, en general, los GAR-Scores más altos fueron obtenidos por escenarios Sensibles al Agua y aquellos No Sensibles al Agua obtuvieron GAR-Scores relativamente bajos, por ejemplo, aquellos simulando vegetación ausente tras falta de irrigación (G7 y G8). Los GAR-Scores más bajos fueron obtenidos por escenarios compuestos por gran cantidad de superficies selladas o duras (A1 GAR-Score 0.40; A2 GAR-Score 0.37 y A3 GAR-Score 0.33).

Al medio de la escala, sin embargo, se presentaron algunos empates entre escenarios Sensibles y No Sensibles (G5 y G6; y G3 y X5) y también un escenario No Sensible al Agua (G4 con 0.61) resultó con un GAR-Score más alto que un escenario Sensible al Agua (G2 con 0.60).

**FIGURA 7.** GAR-Scores calculados para diferentes escenarios de 'Olivade'



## 4. DISCUSIÓN

### 4.1 Adaptación local

Como lo sugirió Miranda et al. (2015), la adaptación de la herramienta a las condiciones locales de Lima es necesaria. Entre Lima y las nueve ciudades existen significativas diferencias de contexto, que de no ser consideradas como parte de la herramienta podrían limitar su utilidad e inclusive ofrecer indicadores que induzcan al error.

Si bien las ciudades tienen preocupaciones y objetivos similares y proponen soluciones (Prácticas) parecidas, algunas de estas no serían sostenibles en Lima - sobre todo desde la perspectiva de la conservación de agua y regulación térmica.

La extrema diferencia en el nivel de lluvias es un obstáculo importante para implementar soluciones dependientes de este recurso - por ejemplo, la implementación de sistemas de recolección de lluvias para irrigación o su utilización en fuentes como sistemas de enfriamiento de la temperatura.

La inclusión de este tipo de Prácticas en las nueve calculadoras - y la ausencia de otras como, por ejemplo: SbN para el tratamiento de aguas - convierte a las herramientas en métricas no necesariamente adecuadas al valorizar positivamente a Prácticas que no son sensibles a las condicionantes locales.

En ese sentido, el GAR-Score calculado para 'Palas' por Miranda et al., (2015) usando el BAF debe ser entendido solo como un ejemplo de aplicación ya que los objetivos de esta herramienta no se alinean completamente con las preocupaciones más relevantes de Lima (Tabla 2). Esto hace que dicho resultado no refleje necesariamente todo el valor, funcionalidad y/o contribución de la vegetación de 'Palas'. Por ello, aplicar una de las nueve herramientas directamente en el caso de Lima, puede hacer que finalmente la herramienta GAR resulte desorientadora e inclusive perjudicial en términos de sostenibilidad, conduciendo inclusive a incrementar el existente stress hídrico al valorar solo el incremento de superficies vegetales.

## **4.2 El GAR-Lima**

### **4.2.1 Un enfoque diferente**

Los objetivos ambientales y SEs identificados fueron diversos y encajaron dentro de los cuatro grupos de la clasificación de Alcamo et al. (2003), reflejando que la visión de sostenibilidad y funcionalidad de las directrices locales se inclina hacia lo ecológico, pero también hacia lo social y cultural. No obstante, se encontraron establecidos en diferentes documentos separadamente. Con excepción de algunas certificaciones internacionales de edificación sostenible, no se encontraron directrices que se enfoquen holística y simultáneamente en diversos SEs, ni una herramienta que mida los beneficios generados en torno a la conservación del agua y regulación térmica, sobre todo por las intervenciones en áreas exteriores. Contrariamente, se observa un enfoque de sostenibilidad más centrado en el interior de los edificios. Esto convierte al GAR-Lima en un concepto novel y potencialmente muy útil para cubrir esta brecha.

Por otro lado, a diferencia de las nueve herramientas, no se observa en el GAR-Lima una diferenciación significativa entre los FFs de las 'Superficies' vegetales y no vegetales. Prácticas de ambos grupos obtuvieron FFs altos y relativamente altos, indicando que el valor de una Práctica - o cuan conveniente resulta - dentro del contexto de Lima no se basa necesariamente en su condición vegetal. Esto se alinea con el 'Espectro del Desierto' de Ivanir et al. (2015), en donde una significativa presencia de superficies no vegetales representa una estrategia válida dentro del paisaje urbano árido para lograr el balance entre la vegetación, el clima y otras funciones para la vida humana. Por otro lado, también cuestiona el concepto de 'ciudad verde' cuando es entendido como modelo de sostenibilidad sólo porque implica una gran cantidad de área verde.

No obstante, se observa en general que las superficies vegetales, principalmente en la forma de SbN ('Pantano' y 'Árbol'), otorgan simultáneamente más beneficios urbanos que aquellas no vegetales (Tabla 3). Esto es consistente con la 'multifuncionalidad' que se atribuye a las SbN y se refleja parcialmente en los altos FFs. Las superficies vegetales pueden asegurar su sostenibilidad en el tiempo a pesar de la aridez a través del xeropaisajismo y la irrigación inteligente. Y también, pueden fortalecer muchos aspectos urbanos, inclusive valores estéticos. Como se observa en el análisis con ENVI-met (Figura 5), también pueden reducir la temperatura de una configuración urbana muy densificada. Su efecto de enfriamiento por evapotranspiración, que las distingue de las superficies no vegetales, finalmente contribuye a la mitigación de las ICUs. Por ello, como lo indica ICLEI (2021), las SbN tienen el potencial de abordar los desafíos exacerbados por la densificación y los impactos del cambio climático y dentro del contexto hiperárido de Lima sería más pertinente que las superficies vegetales se valoren por su facilidad para generar servicios múltiples y colectivos, y no exclusivamente por su condición vegetal.

Esto concierne a los resultados de 'Pared verde'. En estudio este sistema obtuvo el FF más bajo y en el GAR-Lima se colocó al nivel de una 'Superficie' no vegetal como el 'Asfalto', contradiciendo parcialmente a los aspectos positivos que la mayoría de literatura indica. Si bien esto podría relacionarse con sus limitaciones para la reducción de inundaciones como sistema de infiltración (no retención), podría también relacionarse con sus limitaciones para cubrir las superficies más expuestas a la radiación durante el día, como las calles (veredas y pistas) y techos del modelo ENVI-met. Básicamente, al no cubrir dichas superficies, 'Pared verde' no habría logrado mantenerlas frescas la mayor parte del día, limitando significativamente su contribución a la regulación térmica.

Por ello, de todas las 'Superficies' vegetales, se demuestra la superioridad de 'Árbol' para cumplir con ambos propósitos: enfriar por evapotranspiración y aislar a las superficies urbanas más expuestas - siempre y

cuando su follaje sea denso y amplio (Figura 5). Es coherente que 'Árbol' haya obtenido un alto FF, por encima de 'Pared verde' y las otras 'Superficies' vegetales. Cabe destacar que estos atributos de 'Árbol' pueden también ser utilizados a nivel urbano de manera más estratégica, al extenderlos hacia la zona y nivel peatonal. Por ejemplo, potenciando el enfriamiento por evapotranspiración con la sombra, fortaleciendo así el confort y salud ante la exposición directa a la radiación ultravioleta. Esto también puede ser determinante para que otras 'Superficies' presentes resulten útiles y atractivas, ya que no necesariamente serían funcionales si no facilitan la permanencia en el lugar. Esto podría ser clave para la habitabilidad (*liveability*) de áreas urbanas, como Lima Metropolitana, que padecen limitaciones para cubrir muchas superficies con vegetación - ya sea por falta de espacio o agua.

Por tanto, es relevante considerar el uso de la herramienta con sentido crítico y no solo enfocarse en el valor del FF o en la condición vegetal. Más aún, debido al *Layering* ('Superficies funcionales'), el GAR-Lima puede potenciar la contribución final de cada 'Superficie' y 'Unidad' más allá de su naturaleza vegetal. Y por otro lado, la contribución puede también depender del contexto. Por ejemplo, desde la perspectiva térmica (Figura 5), el agua y vegetación que componen a 'Pantano' contribuyen a la mitigación del incremento de la TA y es válida como tecnología de tratamiento de aguas grises (Boano et al., 2019) actualmente muy solicitada por las directrices locales. Sin embargo, implementarlas individualmente en cada nuevo desarrollo podría limitar sus virtudes, sobre todo cuando existen formas de incorporarlas en el entorno urbano potencialmente más sostenibles y con mayor impacto colectivo. Eisenberg et al. (2014) y Vargas Moya (2020) muestran ejemplos al respecto.

En otro caso, si bien el aumento de 'Árbol' en Lima sería de significativa contribución a la regulación de la temperatura, en contextos muy densificados como Londres se ha registrado que una aglomeración intensiva de esta 'Unidad' cerca del tránsito vehicular podría concentrar - en vez de disipar - la contaminación proveniente de esta zona. Así mismo, un 'Árbol' tendría muchas limitaciones para la disipación de contaminantes, por ejemplo, si se coloca lejos de esta zona, como en lo alto de un edificio con techo verde (GLA, 2019).

En aras de la practicidad de la herramienta, la omisión de ciertas variables (sobre todo externas como el viento y la morfología circundante) pueden cambiar significativamente la contribución en la práctica. Por ello, ante la relevancia de la reducción de la contaminación de aire para Lima (IQ Air, 2018) y las limitaciones presentadas para incluir este SE en el GAR-Lima, se recomienda mayor investigación en este y también en los demás SEs - pero sobre todo monitoreo de los resultados, en caso de que el GAR-Lima sea aplicado.

## 4.2.2 Cantidad versus calidad

La comparación de escenarios demuestra la utilidad de la herramienta para cuantificar la escala de beneficios entregados por las superficies vegetales (SEs), así como su potencial para identificar escenarios que pueden limitar su dotación bajo las condiciones locales aun cuando cumplan con los requisitos de 'sostenibilidad' local o incluyan grandes proporciones de vegetación.

Como se observa en la Tabla 7, la implementación de una alta proporción de área con vegetación - por ejemplo, cubrir el 50.1% de un parcela en lugar de solo el 12.7%, así como si un proyecto se considera sostenible o no - no necesariamente se correlaciona con un GAR-Score más alto, lo que sugiere que el incremento de la superficie vegetal dentro de un parcela no necesariamente conlleva a un aumento de los beneficios urbanos, al menos de aquellos considerados por el GAR-Lima.

Por otro lado, el GAR-Lima cuestiona el sentido de sostenibilidad aplicado en los exteriores de los proyectos, sobre todo cuando se basan en la implementación intensiva de una sola tecnología en particular, como por ejemplo en superficies vegetales en 'Suelo desconectado', como techos verdes, como ideal de balance entre lo ambiental y la densificación. 'Olavide' cubrió el 50.1% de su superficie con techos verdes, aun así, no logró superar al enfoque no sensible al agua, ni al clima de 'Huaylas', el cual cubrió con este sistema solo una parte de su 38.5% de superficie total. Similarmente, en la Figura 7, el uso intensivo de un techo blanco ( $A1 = 0.44$ ) alcanzó un GAR-Score muy bajo.

Esto evidencia que la herramienta podría ser útil para evaluar hacia donde las directrices locales encaminan la sostenibilidad - especialmente de las superficies vegetales en áreas exteriores privadas con relación inmediata con el espacio público. Si bien el GAR-Lima no asegura que las superficies vegetales implementadas cambien en el tiempo - y se sabe que en la práctica muchas desaparecen al no necesariamente adaptarse a las condicionantes del proyecto - su flexibilidad (Evokari, 2018) permitiría otorgar más libertad en las decisiones de diseño, en vez de exigir una solución específica como se observa en algunas de las directrices revisadas. Por tanto, la herramienta podría ayudar a que las áreas exteriores fortalezcan su sentido contextual, e integren un enfoque más funcional y holístico, en vez de solo enfocarse en el incremento de la cantidad de vegetación o la implementación de una sola tecnología 'sostenible'.

En ese sentido, la integración de SbN como parte del incremento de superficies vegetales en Lima se alinea bastante. El sentido de 'gestión sostenible' que abarca su definición (IUCN French Committee, 2019, p.4) puede contribuir a fortalecer este enfoque de multifuncionalidad a nivel local, ayudando a minimizar, por ejemplo, vastas áreas de césped

inaccesibles a la actividad humana o incrementar el uso techos verdes sin ser parte de sistemas de filtración y tratamiento de aguas grises y/o no contribuyan al mejoramiento de la calidad de agua. Si a esto se le suma que los altos FFs se correlacionan con SbN, se podría incentivar su integración a nivel urbano y reorientar el discurso de sostenibilidad tradicional basado en el aumento de la 'cantidad de áreas verdes' hacia la 'calidad y multifuncionalidad de áreas verdes'. Utilizar un GAR en Lima, también podría introducir en las directrices locales una métrica local más clara con enfoques de diseño más centrados en el servicio a la ciudad y una función colectiva, en vez de métricas poco claras como los '9 m<sup>2</sup> de área verde per cápita', comúnmente atribuidos a la Organización Mundial de la Salud, a pesar de que aparenta registro oficial alguno (García y Sevilla, 2021; Gadea Lara, 2021; Teo, 2017).

No obstante, se deben también reconocer las limitaciones del amplio espectro de evaluación del GAR-Lima. Como se observa en la Figura 7, el GAR-Lima no fue capaz de otorgarle GAR-Scores significativamente más bajos a escenarios potencialmente perjudiciales para la regulación térmica y mitigación de ICUs, a pesar de la relevancia de estos para Lima. Por ejemplo, G4, G5 y G6 (escenarios no sensibles al contexto) obtuvieron GAR-Scores relativamente mejores y/o iguales a otros escenarios sensibles. Además, escenarios sin vegetación (G7 y G8) resultaron con GAR-Scores más altos que aquellos con vegetación (G9 y CB). Desde la perspectiva térmica (Figura 5 y Tabla 5) la presencia excesiva de escenarios con sombra limitada y excesivo 'Suelo natural' y/o 'Grava' expuesto (como X3, X4 y X5) podría conducir a un efecto de calentamiento.

Al ser un sistema basado en ponderaciones y contabilizar muchos SEs (en este caso 9), su mecanismo de cálculo basado en ponderaciones podría limitar el sistema de priorización que se integró de manera novel en el ECA. Por ello, el sistema de cálculo podría enmascarar la baja contribución de ciertas Prácticas a ciertos SEs a través de su alta contribución hacia otros SEs. Si bien esto podría ser superable - por ejemplo, solicitando un valor mínimo de contribución para un SE importante de forma separada - indica que el GAR-Lima resultante necesita aún mayor calibración y desarrollo.

Sin embargo, el sistema de creación del GAR-Lima es flexible para incluir nuevos datos, lo que podría ayudar a recalibrar los PPs asignados y por ende los FFs. En ese caso, se recomienda incluir sobre todo enfoques cuantitativos, principalmente para superar el nivel de subjetividad que ronda al sistema de puntajes de la herramienta. De acuerdo con Keeley (2011) y Barton (2016), en las herramientas de otras ciudades se observó dicha subjetividad principalmente en la determinación de los FFs de cada Práctica. Como se observa en el ECA, el método para definirlos ya es en sí mismo relativamente subjetivo. Si bien se in-

tentó minimizar esta condición con mediciones con ENVI-met, solo se superó parcialmente, y por tanto es necesario profundizar el método de puntajes de la herramienta, sobre todo bajo estudios cuantitativos considerando condiciones locales.

### 4.2.3 Limitaciones

Dado el alcance preliminar de este estudio, los FFs fueron calculados principalmente a través de métodos que podrían tener una precisión limitada, como por ejemplo la revisión de literatura. Adicionalmente, el análisis microclimático también experimentó algunas limitaciones, que abarcan tanto el conocimiento muy básico del software, así como limitaciones para analizar materiales no contenidos en la base de datos del software.

Por ello, se recomienda profundizar este estudio con métodos más precisos como encuestas locales y/o mediciones *in situ*; y en el caso del análisis microclimático, expandirlo a diferentes días, e incluir otras variables que podrían influir significativamente la TA, como la polución del aire. Se recomienda también utilizar un modelo 3D más complejo ya que este podría haber sido la causa por la que el análisis de los techos verdes resultara inconcluso. Al ser implementados en un área sin obstáculos se podría haber facilitado el flujo del viento, y consecuentemente, disipado el calor acumulado por cualquier material (tanto vegetal como no vegetal). Por ello todas las mediciones, tanto a 17.50 m (o 2.50 m sobre el suelo del techo) y a 2.50 m sobre el nivel de la calle, resultaron con valores muy pequeños que no permitieron establecer conclusiones sobre su impacto en las calles, ni techos del modelo, y, por ende, en general como un sistema efectivo para la regulación térmica exterior en Lima.

## 5. CONCLUSIONES

Frente a los indicadores locales, aumentar la cantidad de superficies vegetales urbanas en Lima Metropolitana sería conveniente para enfrentar diferentes amenazas ambientales. A pesar de la aridez, estas podrían hacer frente a estos desafíos. Por ello, en el contexto de Lima, deberían centrarse en la función final que ofrecerán al entorno urbano, desde una perspectiva holística, que considere simultáneamente varios objetivos ambientales y servicios ecosistémicos.

El GAR-Lima demuestra en ese sentido potencial para orientar en esa dirección. El concepto escalar y local de sus FFs podría fomentar la implementación de superficies vegetales multifuncionales, fortaleciendo así la inclusión de SbN como parte del incremento de las superficies vegetales, pero en balance con otro tipo de superficies necesarias para asegurar sostenibilidad en el tiempo.

No obstante, se debe tener en cuenta que el aporte final y desempeño de las superficies vegetales estará siempre condicionado por la complejidad del entorno urbano. Por ello, los FFs deben ser considerados solo valores de orientación en el diseño y no necesariamente indicadores de cuán conveniente es una Práctica dentro del contexto de Lima.

Esto resalta la importancia del enfoque crítico que se debe tener al aplicar herramientas como el GAR, así como de explorar la implementación de otras soluciones de mitigación y resiliencia. Principalmente debido a la extrema aridez, el incremento de superficies vegetales no debería ser considerada la principal medida de sostenibilidad, ni vista como una compensación absoluta del impacto negativo de la densificación excesiva, sobre todo si se ejerce una elevada presión sobre la condición natural de la vegetación.

Finalmente, ante la ausencia de experiencias con la herramienta en contextos áridos, y las limitaciones observadas - sobre todo en calibración - el GAR-Lima representa un enfoque novel con potencial para reducir la subjetividad en la cuantificación de los beneficios derivados de la vegetación, optimizando la calidad de las áreas verdes locales bajo una base científica. No obstante, su posible aplicación debería estar sujeta a un análisis más detallado.

## 6. REFERENCIAS

Ahmadi Venhari, A., Tenpierik, M., & Taleghani, M. (2019). The role of sky view factor and urban street greenery in human thermal comfort and heat stress in a desert climate. *Journal of Arid Environments*, 166, 68-76. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.04.009>

Alcamo et al. (2003). *Millennium Ecosystem Assessment Ecosystems and Human Well-being A Framework for Assessment*. Millennium Ecosystem Assessment. Recuperado de <https://www.millenniumassessment.org/en/Framework.html>

ARUP (2018). *Rethinking Cities in Arid Environments*. Dubai, United Arab Emirates: ARUP. Recuperado de <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/cities-alive-cities-in-aridenvironments>

Azunre, G. A., Amponsah, O., Peprah, C., Takyi, S. A., & Braimah, I. (2019). A review of the role of urban agriculture in the sustainable city discourse. *Cities*, 93, 104-119. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.006>

Barton, M. (2016). *Nature-Based Solutions in Urban Contexts. A Case Study of Malmö, Sweden*. Recuperado de <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8890909&fileId=8890910>

Bazán, J., Rieradevall, J., Gabarrell, X., & Vázquez-Rowe, I. (2018). Low-carbon electricity production through the implementation of photovoltaic panels in rooftops in urban environments: A case study for three cities in Peru. *The Science of the Total Environment*, 622-623, 1448-1462. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.003>

Beatley, T. (2016). *Handbook of Biophilic City Planning & Design*. Island Press.

Becker Giseke Mohren Richard, & Landschaft Planen und Bauen. (1990). *The Biotope Area Factor as an Ecological Parameter - Principles for Its Determination and Identification of the Target*. Berlin, Germany: Landschaft Planen und Bauen,

Becker Giseke Mohren Richard, and Arbeitsgemeinschaft Umweltplanung AGU for Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Abt. III. Recuperado de <https://www.berlin.de/sen/uvk/en/nature-and-green/landscapeplanning/baf-biotope-area-factor/>

Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2002). Green Infrastructure: Smart conservation for the 21st Century. *Renewable Resources Journal*, 20(3), 12-17. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/273127683\\_Green\\_Infrastructure\\_Smart\\_Conservation\\_for\\_the\\_21st\\_Century](https://www.researchgate.net/publication/273127683_Green_Infrastructure_Smart_Conservation_for_the_21st_Century)

Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., Galvão, A., Piscoiro, J., Rizzo, A., & Masi, F. (2020). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of the Total Environment*, 711, 134731. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134731>

BRE Global (2017). *BREEAM Communities. Technical Manual*. BRE Global. Recuperado de [https://www.breeam.com/communitiesmanual/content/resources/otherformats/output/10\\_pdf/20\\_a4\\_pdf\\_screen/sd202\\_breeam\\_communities\\_1.2\\_screen.pdf](https://www.breeam.com/communitiesmanual/content/resources/otherformats/output/10_pdf/20_a4_pdf_screen/sd202_breeam_communities_1.2_screen.pdf)

Brescia de Fort, R., Dibós de Boza, R., Gervasi de Custer, M., Vidales de Jgurinovic, P., & Rosingana Puccio, M. (2010). *Paisajes verdes con poca agua. Jardines para Lima y ciudades de regiones secas* (2ª ed.). Lima, Perú: Wust Ediciones.

Ccora Tuya, O. (Jan, 2015). (Jan, 2015). Radiación ultravioleta - B, vulnerabilidad y riesgos en el verano. (9) 97. doi:10.19052/sv.1520 Recuperado de [https://www.openaire.eu/search/publication?articleId=od\\_\\_\\_\\_\\_3056::a9708ddb5ec7270eed70a5e3228f79e](https://www.openaire.eu/search/publication?articleId=od_____3056::a9708ddb5ec7270eed70a5e3228f79e)

Chepkemoi, J. (2017). *What Is The Difference Between A Biotope And A Habitat?* WorldAtlas. Recuperado de <https://www.worldatlas.com/articles/what-is-the-difference-between-a-biotope-and-a-habitat.html>

City of Helsinki Environment Centre (2016). *Developing the City of Helsinki Green Factor Method. Report summary*. Helsinki, Finland: City of Helsinki Environment Centre. Recuperado de [https://www.integratedstormwater.eu/sites/www.integratedstormwater.eu/files/report\\_summary\\_developing\\_a\\_green\\_factor\\_tool\\_for\\_the\\_city\\_of\\_helsinki.pdf](https://www.integratedstormwater.eu/sites/www.integratedstormwater.eu/files/report_summary_developing_a_green_factor_tool_for_the_city_of_helsinki.pdf)

City Population (2020). *City Population*. City Population. Recuperado de <https://www.citypopulation.de/>

Community Forest Northwest (2020). *Green Infrastructure to combat climate change Part of the North West Climate Change Action Plan*. Community Forest Northwest. Recuperado de <http://www.greeninfrastructurenw.co.uk/climatechange/>

Ley n. 30102, de 6 de noviembre del 2013 (2013, 6 de noviembre). Ley que dispone medidas preventivas contra los efectos nocivos para la salud por la exposición prolongada a la radiación solar. Recuperado de <https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/30102.pdf>

Department of Energy and Environment (2017). *GREEN AREA RATIO GUIDEBOOK*. Washington DC, United States: Department of Energy and Environment, Natural Resources Administration, Regulatory Review Division. Recuperado de [https://doee.dc.gov/sites/default/files/dc/sites/ddoe/service\\_content/attachments/GARGuidebook\\_FINAL\\_November2017\\_0.pdf](https://doee.dc.gov/sites/default/files/dc/sites/ddoe/service_content/attachments/GARGuidebook_FINAL_November2017_0.pdf)

Doherty, G. (2017). *Paradoxes of green: landscapes of a city-state*. University of California Press.

Duarte, D. H. S. (2016). Vegetation and climate-sensitive public spaces. In R. Emmanuel (Ed.), *Urban Climate Challenges in the Tropics* (pp. 111-162). Imperial College Press.

Eisenberg, B., Nemcova, E., Poblet, R., & Stokman, A. (2014). *Lima Ecological Infrastructure Strategy - Integrated urban planning and design tools for a water-scarce city*. ILPÖ - Institute of Landscape Planning and Ecology.

- Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2011). Urban Microclimate – Designing the Spaces between Buildings. In M. Hebbert, V. Janković & B. Webb (Eds.), *City Weathers: Meteorology and Urban Design, 1950-2010* (pp. 127-132). Manchester Architecture Research Centre, University of Manchester. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/255989068\\_Urban\\_Microclimate\\_-\\_Designing\\_the\\_Spaces\\_Between\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/255989068_Urban_Microclimate_-_Designing_the_Spaces_Between_Buildings)
- Espinoza, R., Muñoz-Cerón, E., Aguilera, J., & de la Casa, J. (2019). Feasibility evaluation of residential photovoltaic self-consumption projects in Peru. *Renewable Energy*, 136, 414-427. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.003>
- Evokari, V. (2018). Green Factor Tool for climate smart and diverse city blocks. iWater. Recuperado de [https://resilientcities2018.iclei.org/wpcontent/uploads/B1\\_Presentation\\_Evokari.pdf](https://resilientcities2018.iclei.org/wpcontent/uploads/B1_Presentation_Evokari.pdf)
- Fansa, N. (2019). Densi-Greenation. Exploring the integration of nature and built environment. (Tesis de Maestría). Department of Architecture and Civil Engineering. Chalmers University of Technology, Gothenburg. Recuperado de <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/300541/1/Master%27s%20Thesis%20in%20Architecture%20by%20Nour%20Fansa%202019.pdf>
- Ferrer, P. et al. (2014). *Hacia una Lógica de Espacios Públicos Vegetados para Lima*. Borde Costero y Paisaje, Pensamiento Pasajero y Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de [https://issuu.com/paulineferrersologuren/docs/hacia\\_una\\_lo\\_gica\\_de\\_espacios\\_pu\\_](https://issuu.com/paulineferrersologuren/docs/hacia_una_lo_gica_de_espacios_pu_)
- Fondo MIVIVIENDA S.A. (2020). *Programa MIVIVIENDA VERDE*. MIVIVIENDA. Recuperado de <https://www.mivivienda.com.pe/portalweb/promotores-construtores/pagina.aspx?idpage=122>
- Gadea Lara, T. (2021). La OMS nunca recomendó cuántos espacios verdes debe tener una ciudad, cuánto importa la cantidad y calidad de estos en Buenos Aires. Recuperado de <https://chequeado.com/el-explicador/la-oms-nunca-recomendo-cuantos-espacios-verdes-debe-tener-una-ciudad-cuanto-importa-la-cantidad-y-calidad-de-estos-en-buenos-aires/>
- García, S., & Sevilla, O. (2021, 3 de julio). En Perú, solo Lima, Arequipa y Tacna superan los 3m<sup>2</sup> de área verde/hab [Blog]. Recuperado de <https://imappin.medium.com/en-per%C3%BA-solo-lima-arequipa-y-tacna-superan-los-3m2-de-%C3%A1rea-verde-hab-86906aaae723>
- Gehl, J. (2006). *Life between Buildings: Using Public Space*. Island Press.
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235-245. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
- Grant, G. (2017). *Urban Greening Factor for London. Research Report*. London, United Kingdom: Greater London Authority. Recuperado de [https://www.london.gov.uk/sites/default/files/urban\\_greening\\_factor\\_for\\_london\\_final\\_report.pdf](https://www.london.gov.uk/sites/default/files/urban_greening_factor_for_london_final_report.pdf)
- Greater London Authority (2019). *Using Green Infrastructure to protect people from air pollution*. London, United Kingdom. Recuperado de <https://www.london.gov.uk/what-we-do/planning/londonplan/new-london-plan/draft-new-london-plan/chapter-8-green-infrastructure-and-naturalenvironment/policy-g5>.
- Hagen, B., Pijawka, D., Prakash, M., & Sharma, S. (2017). Longitudinal analysis of ecosystem services' socioeconomic benefits: Wastewater treatment projects in a desert city. *Ecosystem Services*, 23, 209-217. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.12.014>
- Hauer, R. J., Koeser, A. K., Parbs, S., Kringer, J., Krouse, R., Ottman, K., Miller, R. W., Sivyer, D., Timilsina, N., & Werner, L. P. (2020). Long-term effects and development of a tree preservation program on tree condition, survival, and growth. *Landscape and Urban Planning*, 193, 103670. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103670>

- Hemeier, M. (2005). *Besonders geschützte Biotope in Berlin*. Berlin, Germany: Senate Department for Urban Development and Housing. Recuperado de [https://www.berlin.de/senuvk/natur\\_gruen/naturschutz/biotopschutz/downloadbiotopkartierung/geschuetzte\\_biotope.pdf](https://www.berlin.de/senuvk/natur_gruen/naturschutz/biotopschutz/downloadbiotopkartierung/geschuetzte_biotope.pdf)
- Hirst, J., Morley, J., & Bang, K. (2008). *Functional Landscapes: Assessing Elements of Seattle Green Factor*. Seattle, United States: The Berger Partnership PS.
- ICLEI (2021). *How cities are using nature-based solutions for sustainable urban development*. Recuperado de <https://cbc.iclei.org/cities-using-nature-based-solutions-sustainable-urban-development/>
- IEA - International Energy Agency (2020). *Key energy statistics, 2018*. International Energy Agency. Recuperado de <https://www.iea.org/countries/peru>
- IFC (2018). *EDGE User Guide Version 2.1*. International Finance Corporation. Recuperado de <https://edgebuildings.com/wp-content/uploads/2019/10/190515-EDGE-UG-Spanish.pdf?lang=es>
- Romero, J., Martínez, J., & Valdivia Sisniegas, R. (Producers), & Inversiones Tarpuy, S.A.C. (Director). (2014, 30 Jul). *Residencial Kallpa - La Campiña Chorrillos*. [Video] YouTube. Recuperado de <https://www.youtube.com/channel/UCIR-YP4fRcOf7wTGVPpETNg>
- IQ Air (2018). *2018 World Air Quality Report. Region & City PM2.5 Ranking*. (IQAir AirVisual app and website Report). Recuperado de <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities/world-air-quality-report-2018-en.pdf>
- IUCN French Committee (2019). *Nature-based Solutions for climate change adaptation and disaster risk reduction*. Paris, France. Recuperado de <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2019/07/uicn-g20-light.pdf>
- Ivanir, A. N., Lissovsky, N., & Orenstein, D. E. (Sep, 2015). "Desert gardens" vs "Gardens in Deserts" - Contrasting approaches to arid landscape design. Paper presented at the *ECLAS Conference*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/283422059\\_Desert\\_gardens\\_vs\\_Gardens\\_in\\_Deserts\\_-\\_Contrasting\\_approaches\\_to\\_arid\\_landscape\\_design](https://www.researchgate.net/publication/283422059_Desert_gardens_vs_Gardens_in_Deserts_-_Contrasting_approaches_to_arid_landscape_design).
- James, P., Hart, J. E., Banay, R. F., & Laden, F. (2016). Exposure to Greenness and Mortality in a Nationwide Prospective Cohort Study of Women. *Environmental Health Perspectives*, 124(9), 1344-1352. Recuperado de <https://doi.org/10.1289/ehp.1510363>
- Jennings, V., & Bamkole, O. (2019). The Relationship between Social Cohesion and Urban Green Space: An Avenue for Health Promotion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(3), 452. Recuperado de 1
- Jönsson, A. (2016, May 22,). What is Green about Green Spaces in the Desert? Recuperado de <http://www.governingdubai.com>
- Juhola, S. (2018). Planning for a green city: The Green Factor tool. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34, 254-258. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.07.019>
- Keeley, M. (2011). The Green Area Ratio: an urban site sustainability metric. *Journal of Environmental Planning and Management*, 54(7), 937-958. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/09640568.2010.547681>
- Kellert, S. R., & Calabrese, E. F. (2015). *The Practice of Biophilic Design*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.07.019>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263. Recuperado de <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Kruuse, A. (2011). *GRaBS Expert Paper 6. The green space factor and the green points system*. London, United Kingdom: Town and Country Planning Association.

Recuperado de <https://www.redfrogforum.org/wp-content/uploads/2020/04/125-GRaBS-Expert-Paper-6-the-green-space-factor-and-the-green-points-system.pdf>

MINAGRI & ANA (2018). *Estado situacional de los recursos hídricos en las cuencas Chillón, Rímac y Lurín 2016/2017*. Lima, Perú: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego y Autoridad Nacional del Agua. Recuperado de <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2902>

MINAM (2020). *Dirección General de Cambio Climático y Desertificación*. Ministerio del Ambiente. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/por-que-el-peru-es-el-tercer-pais-mas-vulnerable-al-cambio-climatico/>

MINEDU (2008). *Guía de Aplicación de Arquitectura Bioclimática en Locales Educativos*. Ministerio de Educación. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/9A45F1BED1AB7C6705257CCA00550ABD/\\$FILE/GuiaBioclim%C3%A1tica2008.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A45F1BED1AB7C6705257CCA00550ABD/$FILE/GuiaBioclim%C3%A1tica2008.pdf)

Miranda, L., Neira, E., Torres, R., & Valdivia, R. (2015). *Perú: Hacia la construcción sostenible en escenarios de cambio climático* (1st ed.). Universidad Ricardo Palma - Editorial Universitaria. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/9A45F1BED1AB7C6705257CCA00550ABD/\\$FILE/GuiaBioclim%C3%A1tica2008.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A45F1BED1AB7C6705257CCA00550ABD/$FILE/GuiaBioclim%C3%A1tica2008.pdf)

Ordenanza n. 437-MSI (2015). Modifican la Ordenanza N° 412-MSI, que establece disposiciones para incentivar la inversión y la mejora de la competitividad en el distrito. Recuperado de <https://www.sni.org.pe/modifican-laordenanza-no-412-msi-que-establece-disposiciones-para-incentivar-la-inversion-y-lamejora-de-la-competitividad-en-el-distrito/>

Ordenanza n. 474-MSI (2019). Aprueban el Reglamento Integrado Normativo - RIN del distrito. Recuperado de <https://www.ipdu.pe/legislacion/ordenanza/sanidro/474-MSI.pdf>

Ordenanza n. 539-MM (2020). Ordenanza que modifica la ordenanza N° 510/MM, que establece, regula y promueve condiciones para edificaciones sostenibles en el distrito de Miraflores. Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/modifican-la-ordenanza-n-510mm-queestablece-regula-y-pr-ordenanza-n-539mm-1865762-1>

Ordenanza n. 623-MSB (2019). Modificación de la Ordenanza N° 610-MSB Ordenanza de edificaciones sostenibles en áreas residenciales en el distrito de San Borja. Recuperado de [http://paginaant.msb.gob.pe/index.php/normas/cat\\_view/21-normas/14-ordenanzas-municipales/732-ordenanzas-2019.html?limit=5&limitstart=0&order=name&dir=DESC](http://paginaant.msb.gob.pe/index.php/normas/cat_view/21-normas/14-ordenanzas-municipales/732-ordenanzas-2019.html?limit=5&limitstart=0&order=name&dir=DESC)

Municipalidad Metropolitana de Lima, MML. (2013). *Guía virtual - Árboles en Lima 2013*. Municipalidad Metropolitana de Lima MML. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/245927959/216776733-Guia-virtual-Arboles-en-Lima-pdf>

Decreto Supremo n. 011-2006-VIVIENDA (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-delreglamento-nacional-de-edificaciones-rne>

Decreto Supremo n. 0004-2011-VIVIENDA (2011). Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano (RATyDU). Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5\\_uibd.nsf/26331FD5373CD250052583E5005DD9E7/\\$FILE/Reglamento\\_de\\_Acondicionamiento\\_Territorial.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/26331FD5373CD250052583E5005DD9E7/$FILE/Reglamento_de_Acondicionamiento_Territorial.pdf)

Decreto Supremo n. 022-2016-VIVIENDA (2016). Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano Sostenible (RATyDUS). Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-elreglamento-de-acondicionamien-decreto-supremo-n-022-2016-vivienda-1466636-3/>

MVCS (Feb 8, 2017). MRSE: Mecanismo por Retribución de Servicios Ecosistémicos. Infraestructura Verde e Infraestructura Gris. Paper presented at the *Taller*:

*Formulación Del Plan Maestro De Infraestructura Verde (PM IV) De SEDAPAL.*  
Recuperado de [https://www.sunass.gob.pe/Evento7\\_8feb2017/8f\\_mvcs\\_mrse.pdf](https://www.sunass.gob.pe/Evento7_8feb2017/8f_mvcs_mrse.pdf)

Nouri, H., Chavoshi Borujeni, S., & Hoekstra, A. Y. (2019). *The blue water footprint of urban green spaces: An example for Adelaide, Australia.* Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103613>

Paul Osmond, & Ehsan Sharifi. (2017). *Guide to urban cooling strategies.* CRC for Low Carbon Living. Recuperado de [http://www.lowcarbonlivingcrc.com.au/sites/all/files/publications\\_file\\_attachments/rp2024\\_guide\\_to\\_urban\\_cooling\\_strategies\\_2017\\_web.pdf](http://www.lowcarbonlivingcrc.com.au/sites/all/files/publications_file_attachments/rp2024_guide_to_urban_cooling_strategies_2017_web.pdf)

Pauleit, S., Zölch, T., Hansen, R., B. Randrup, T., & Konijnendijk van den Bosh, Cecil. (2017). Nature-Based Solutions and Climate Change – Four Shades of Green in N. Kabish, H. Korn, J. Stadler & A. Bonn (Eds.), *Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas - Linkages between Science, Policies and Practices* (pp. 29-49). Springer Open. Recuperado de <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-56091-5>

Portugal del Pino, D. (Feb 24, 2020). Marco teórico sobre Soluciones basadas en la Naturaleza de la IUCN. Paper presented at the *Soluciones Basadas En La Naturaleza En Perú.* Recuperado de [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32811-5\\_120-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32811-5_120-1)

Prieto Sánchez, R. (no date). *Código Técnico de Construcción Sostenible.* Lima, Perú: Dirección de Construcción. Recuperado de <http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/SeminarioN/5.%20C%C3%B3digo%20T%C3%A9cnico%20de%20Construcci%C3%B3n%20Sostenible.pdf>

PROACC (2018). *Ficha Técnica N°1 General Ficha Medidas de Adaptación.* Lima, Perú: Proyecto Adaptación de la Gestión de los recursos Hídricos en Zonas Urbanas al Cambio Climático con la Participación del Sector Privado (PROACC).

SENAMHI (2009). *Escenarios Climáticos en el Perú. Resumen Técnico Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático para el año 2030.* Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Recuperado de [http://idesep.senamhi.gob.pe/portaledesep/files/tematica/cambio\\_climatico/Escenarios\\_climaticos\\_en\\_el\\_Peru\\_para\\_el\\_ano\\_2030.pdf](http://idesep.senamhi.gob.pe/portaledesep/files/tematica/cambio_climatico/Escenarios_climaticos_en_el_Peru_para_el_ano_2030.pdf)

SENAMHI (2020). *Tiempo / Pronóstico del Tiempo.* Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?p=pronostico-detalle&dp=lima&localidad=0001>

Siña, M., Wood, R. C., Saldarriaga, E., Lawler, J., Zunt, J., García, P., & Cárcamo, C. (2016). Understanding Perceptions of Climate Change, Priorities, and Decision-Making among Municipalities in Lima, Peru to Better Inform Adaptation and Mitigation Planning. *PLoS ONE* 11, 11(1). Recuperado de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147201>

Southampton City Council (2015). *Southampton City Council Green Space Factor Guidance Notes.* Southampton, United Kingdom: Southampton City Council. Recuperado de <https://www.southampton.gov.uk/planning/planning-permission/sustainabilitychecklist.aspx>

Stockholms stad (2015). *GYF - grönytefaktor för kvartersmark.* Stockholm, Sweden: Stockholms stad. Recuperado de <https://vaxer.stockholm/globalassets/omraden/-stadsutvecklingsomraden/fokus-hagsatraragsved/direktanvisning/gyf---gronytefaktor-for-kvartersmark.pdf>

Sukopp, H., & Weiler, S. (1988). Biotope mapping and nature conservation strategies in urban areas of the Federal Republic of Germany. *Landscape Urban Planning*, 15, 39-58. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(88\)90015-1](https://doi.org/10.1016/0169-2046(88)90015-1).

Teo, V. (2017, 21 de agosto). I see many studies citing WHO for their international minimum standard for green space (9m2 per capita). But where is the actual study? [Foro de discusión en línea] Recuperado de <https://www.researchgate.net/post/I-see-many-studies-citing-WHO-for-their-international-minimum-standard-for-green-space-9m2-per-capita-But-where-is-the-actual-study>

- Teruya Revilla, S. N. (2016). *Análisis de la relación de la isla de calor urbano con factores demográficos espaciales y ambientales de Lima metropolitana usando sensores remotos*. (Tesis de Pregrado). Facultad de Ciencias. Universidad Agraria La Molina, Lima. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3107>
- The Morton Arboretum (2020). *Preventing construction damage to trees and shrubs*. The Morton Arboretum. Recuperado de <https://www.mortonarb.org/trees-plants/tree-and-plant-advice/horticulture-care/preventing-construction-damage-trees-and-shrubs>
- Tolderlund, L. (2010). *Design guidelines and maintenance manual for green roofs in the semi-arid and arid west*. Colorado, United States: University of Colorado Denver. Recuperado de <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/GreenRoofsSemiAridAridWest.pdf>
- Tsoka, S., Tsikaloudaki, A., & Theodosiou, T. (2018). Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—A review. *Sustainable Cities and Society*, 43, 55-76. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.009>
- USGBC United States Green Building Council (2019). *LEED v4 for Building Design and Construction*. United States Green Building Council.
- Vargas Moya, M. (Feb, 2020). Tratamiento de Aguas Grises. Paper presented at Nuevas Consideraciones Técnicas Para Una Arquitectura Sostenible, 1-51.
- Vartholomaios, A., Kalogirou, N., Athanassiou, E., & Papadopoulou, M. (July, 2013). The green space factor as a tool for regulating the urban microclimate in vegetation-deprived greek cities. Paper presented at the International Conference on "Changing Cities": Spatial, Morphological, Formal; Socio-Economic Dimensions. Recuperado de <https://doi.org/10.13140/2.1.1598.8484>
- Vogt, J., Gillner, S., Hofmann, M., Tharang, A., Dettmann, S., Gerstenberg, T., Schmidt, C., Gebauer, H., Van de Riet, K., Berger, U., & Roloff, A. (2017). Citree: A database supporting tree selection for urban areas in temperate climate. *Landscape and Urban Planning*, 157, 14-25. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.06.005>
- Weather Atlas (2020). Weather Atlas. Weather Atlas. <http://www.weather-atlas.com>
- Wilson, S., Baffoe-Bonnie, B., Prescott, C., Tarbet, N., Brindle, F., & Shaffer, P. (2008). Understanding permeable and impermeable surfaces. Technical report on surfacing options and cost benefit analysis. London, United Kingdom. Recuperado de <http://data.parliament.uk/DepositedPapers/Files/DEP2010-0563/DEP2010-0563.pdf>
- World Bank (2013). *Urban Agriculture: Findings from Four City Case Studies*. (No. 18). Washington, DC. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10986/16273>
- Yang, J., & Wang, Z. (2017). Planning for a sustainable desert city: The potential water buffering capacity of urban green infrastructure. *Landscape and Urban Planning*, 167, 339-347. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.07.014>

**Carol Torres Limache**

Autor Independiente. Grado académico: MSc y MEng in urban climate and sustainability. Especialidad: Arquitectura y Urbanismo.

E-mail: [ctorreslimache@outlook.com](mailto:ctorreslimache@outlook.com)

Orcid ID: 0000-0003-4905-3341

**Recebido em:** 12/08/2021.

**Aceito em:** 06/02/2022.