

INFRAESTRUCTURA VERDE Y AZUL PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LAS CIUDADES

MÁSTER EN INVESTIGACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN INDUSTRIA, TRANSPORTE, EDIFICACIÓN Y URBANISMO

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

TRABAJO FIN DE MÁSTER. *Curso 2021-2022*

AUTORA: Irene Guerrero Diago

TUTORA: Olatz Grijalba Aseguinolaza

RESUMEN

De manera simultánea, los altos niveles de contaminación y el deterioro de la naturaleza en las ciudades, suponen un grave problema que afecta en gran medida en la salud de la ciudadanía y del resto de seres vivos que habitan en los entornos urbanos. Es por este motivo, que términos como las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), la Infraestructura Verde y Azul (IV) y la Calidad del Aire (CA), hayan adquirido, sobre todo esta última década, una mayor relevancia, tanto en el ámbito científico como político-administrativo. Este estudio ha evaluado como una adecuada implementación de IV puede mejorar la calidad del aire en las ciudades. También, se ha podido determinar que cada entorno urbano, el cual presenta unas características específicas, requiere de un diseño concreto para obtener el máximo beneficio de la IV, ya que su eficacia depende de una serie de factores, como el tipo de contaminante a tratar, la distancia de la fuente emisora o la configuración y dimensión de la IV y de la localización de la misma, entre otros. Además se ha analizado el caso de aplicación en Tenerife, con el fin de evaluar sus condiciones actuales de calidad de aire e Infraestructura Verde. Se ha determinado que esta ciudad presenta unas condiciones atmosféricas perjudiciales para la salud, según los límites establecidos por la OMS, y no dispone de una adecuada IV, atendiendo a la definición y características desarrolladas en este trabajo. De esta manera, se plantean algunas estrategias de IV cuya funcionalidad principal es la mejora de la calidad del aire de la ciudad. Esta investigación puede ser de referencia para el diseño de futuras estrategias de IV, tanto en Santa Cruz de Tenerife, como en otras regiones con características similares.

PALABRAS CLAVE: Infraestructura Verde, Calidad del Aire, Contaminación atmosférica, ciudad, salud.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	4
METODOLOGÍA	5
3.1. ESTADO DEL ARTE	5
3.2. APLICACIÓN EN SANTA CRUZ DE TENERIFE	6
ESTADO DEL ARTE	8
4.1. CALIDAD DEL AIRE (CA)	8
4.1.1. Calidad del aire y contaminación atmosférica	8
4.1.2. Contaminantes atmosféricos	9
4.1.3. Efectos de la contaminación atmosférica en la salud	11
4.2. INFRAESTRUCTURA VERDE Y AZUL (IV)	15
4.2.1. Soluciones basadas en Naturaleza e Infraestructura Verde	15
4.2.2. Características de la IV	18
4.2.3. Beneficios de las IV	21
4.3. INFRAESTRUCTURA VERDE PARA LA MEJORA DE CALIDAD DEL AIRE	23
4.3.1. Reducción de la contaminación atmosférica mediante IV	23
4.3.2. Modelos y herramientas para estudiar la CA	26
4.3.3. Indicadores de mejora de la CA del aire mediante IV	29
4.3.4. Infraestructura Verde y la salud de las personas	31
CASO ESTUDIO: SANTA CRUZ DE TENERIFE	33
5.1. SANTA CRUZ DE TENERIFE	33
5.2. CALIDAD DEL AIRE EN SANTA CRUZ DE TENERIFE	35
5.2.1. Factores que Calidad del Aire en Santa Cruz de Tenerife	35
5.2.1. Medidores de la Calidad del Aire	37
5.2.1.2. Ubicación y características	37
5.2.1.2. Evaluación de datos	40
5.2.1.2. Conclusiones de CA	48
5.3. INFRAESTRUCTURA VERDE EN SANTA CRUZ DE TENERIFE	50
5.3.1. Vegetación real y vegetación potencial de Santa Cruz de Tenerife	50
5.3.2. Vegetación urbana de Santa Cruz de Tenerife	51
5.4. ESTRATEGIAS DE IV PARA LA MEJORA DE CA EN SANTA CRUZ DE TENERIFE	54
5.4.1. Aspectos clave para la implementación de IV en Santa Cruz de Tenerife	54
5.4.2. Estrategias de IV en Santa Cruz de Tenerife	54
LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	61
CONCLUSIONES	61
REFERENCIAS	62

1. INTRODUCCIÓN

Según el último Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la actividad humana ha sido la principal causante de su rápido crecimiento, sobre todo en estas últimas décadas [1]. Las ciudades, a pesar de ocupar únicamente un 2% de la superficie de la Tierra, concentran gran parte de la población mundial, lo cual presenta una tendencia ascendente, ya que en 2050 se estima que más de un 66% de la población habitará en los entornos urbanos [2]. Tanto la creciente y alta densidad de ocupación, característica en las ciudades, como el elevado metabolismo urbano desarrollado en las mismas, conllevan que sean uno de los principales responsables, y al mismo tiempo, de los ámbitos con mayor porcentaje de población vulnerable a los efectos derivados del cambio climático. De esta manera, los espacios urbanos son los mayores consumidores de energía y recursos naturales donde la demanda energética requerida por las ciudades constituye un 65% de la demanda global de energía [3].

Además, debido a la sobrepoblación y el modelo urbanístico industrial desarrollado, el entorno natural ha sufrido una gran transformación y destrucción. Provocando una limitación significativa de los posibles beneficios ambientales que pueden aportar los ecosistemas naturales y, consecuentemente, aumentando su vulnerabilidad. Importantes evidencias como el efecto de la isla de calor, las inundaciones, las precipitaciones extremas, el deslizamiento del terreno y la contaminación atmosférica, ya son una realidad en la mayoría de los entornos urbanos. Esta última supone un importante efecto en la calidad del aire, por lo que se considera de gran relevancia por su grave y directa influencia, tanto presente como futura, en la salud de las personas.

En los últimos años, conceptos como Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) e Infraestructura Verde y Azul (IV), han adquirido mayor interés en la literatura científica y política, además al haberse demostrado sus diversos beneficios climáticos, económicos y sanitarios [4]. Por este motivo, se han convertido en factores clave para el diseño de estrategias de mitigación y adaptabilidad al cambio climático. Considerando de gran prioridad su implementación a una escala urbana, con el fin de reducir los principales efectos perjudiciales como las extremas temperaturas y las elevadas concentraciones de contaminantes en el aire.

Las ciudades con una alta densidad poblacional, una amplia infraestructura gris y un intenso desarrollo de actividades industriales, presentan un mayor riesgo de contaminación atmosférica. También, ciertas características naturales como la geografía o el viento, provocan que algunos entornos urbanos presentan peores niveles de calidad del aire que otros, debido principalmente a su baja capacidad de dispersión de los mismos. Santa Cruz de Tenerife, situada en las Islas Canarias es un claro ejemplo. Presenta unos niveles de contaminación atmosférica preocupantes debido a ciertos parámetros naturales, como su orografía (región costera con cordilleras interiores), las intrusiones de polvo sahariano (calima), las temperaturas y el viento predominante. Además de las altas emisiones antropogénicas, derivadas del intenso tráfico rodado y marítimo, y el gran desarrollo industrial y, sobre todo, turístico[5][6][7].

El objetivo principal de este estudio, es realizar una revisión bibliográfica sobre la implementación en las ciudades de estrategias basadas en el uso de Infraestructura Verde y Azul para la mejora de la calidad del aire, centrándose en la reducción de contaminación atmosférica. Finalmente, se ha evaluado una posible aplicación en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife. Para ello, se ha analizado previamente las características actuales vinculadas con la calidad del aire e infraestructura verde, y se ha diseñado una serie de posibles propuestas, con el fin de disminuir el nivel de contaminación atmosférica.

El contenido de este trabajo está organizado de la siguiente manera: la **Sección 2** describe con mayor detalle los objetivos del estudio, y a continuación en la **Sección 3**, se muestra la metodología seguida para el desarrollo del mismo. En la **Sección 4** se presenta una revisión bibliográfica de la contaminación atmosférica, la infraestructura verde y azul, y la aplicación de la misma para la mejora de calidad del aire en las ciudades. El caso de estudio, las futuras investigaciones y las conclusiones que se extraen de este trabajo se analizan en las **Secciones 5, 6 y 7** respectivamente.

2. OBJETIVOS

El desarrollo de este trabajo tiene el objetivo de **analizar cómo a partir de la implementación de la Infraestructura Verde (IV) se puede mejorar la calidad del aire en las ciudades**. Para ello, se ha realizado una evaluación del nivel de estudio y aplicación que presentan este tipo de soluciones basadas en la naturaleza, con el fin de reducir la contaminación atmosférica, sobre todo en aquellos entornos más afectados, como son las ciudades. Además, se define la calidad del aire, profundizando en la contaminación atmosférica. De esta forma, determinar las distintas fuentes emisoras existentes y sus posibles clasificaciones, e identificar los principales contaminantes atmosféricos y sus efectos perjudiciales en la salud de las personas.

Por otro lado, se plantea **si es posible la aplicación de IV en ciudades con un clima cálido y precipitaciones escasas**, y que se caracterizan por una vegetación natural esteparia. Para ello, se ha escogido la ciudad de Santa Cruz de Tenerife como caso de aplicación. Se busca diseñar una serie de estrategias generales de IV para la mejora de la calidad del aire. Además de identificar los principales factores, tanto naturales como antropogénicos, que influyen en esta región en concreto, así como evaluar los niveles de contaminación y los sistemas de medición disponibles en la ciudad. De esta manera, determinar qué localizaciones de la ciudad presentan una mayor prioridad de actuación, y evaluar, de forma simplificada, la viabilidad técnica de posibles componentes que pudieran conformar una futura IV en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife.

3. METODOLOGÍA

La metodología aplicada para alcanzar los objetivos de la investigación se ha diferenciado principalmente en dos partes. Por un lado, en la *Sección 3.1* se desarrolla la metodología seguida para la elaboración del contexto teórico del estudio. Mientras en la *Sección 3.2*, se describe la metodología empleada para el desarrollo del caso de aplicación en Santa Cruz de Tenerife.

3.1. ESTADO DEL ARTE

Con el fin de disponer un contexto teórico completo y adecuado para la realización de este estudio, se ha realizado una revisión bibliográfica dividida en tres apartados: **1) Calidad del aire en las ciudades**, **2) Infraestructura Verde y Azul (IV)** y **3) Estrategias de IV para la mejora de la calidad del aire exterior**. Se han empleado para la búsqueda de artículos científicos herramientas especializadas como *Google Académico*, *ScienceDirect* y *ResearchGate*. De forma general, se han seleccionado los artículos científicos con una publicación más reciente.

- Calidad del aire en las ciudades:** se ha definido el concepto general de calidad del aire, centrándose especialmente en la contaminación atmosférica debido a su afección directa y perjudicial en la salud de las personas. A continuación, atendiendo a los artículos científicos revisados, se ha identificado los principales contaminantes atmosféricos, las fuentes emisoras y sus diferentes formas de clasificación, y los efectos perjudiciales para la salud. También se ha evaluado las directrices establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para reducir los niveles de contaminación en las ciudades.
- Infraestructura verde y azul:** mediante la revisión bibliográfica, se han definido los conceptos de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) e Infraestructura Verde y Azul (IV), ya que se tratan de términos novedosos y con gran variedad de interpretaciones. Por otro lado, se han determinado las principales características y beneficios de la IV.
- Estrategias de IV para la mejora de la calidad del aire:** se han evaluado estudios que se centran en la implementación de IV para la mejora de la calidad del aire, concretamente en la reducción de los niveles de contaminación atmosférica. También se han identificado los principales modelos y herramientas existentes para estudiar la contaminación atmosférica, así como los indicadores empleados para definir la mejora de la CA mediante IV. Por último, se han analizado estudios que vinculan directamente la implementación de IV con la mejora de la salud de las personas que residen en entornos urbanos, debido a la reducción de contaminación atmosférica.



Figura 3.1. Esquema resumen de metodología desarrollada para el Estado del Arte y palabras clave (azul). Elaboración propia

3.2. APLICACIÓN EN SANTA CRUZ DE TENERIFE

La metodología aplicada para el desarrollo de este apartado, como se muestra en la *Figura 3.2*, se ha dividido en tres procesos para lograr definir una serie de estrategias de IV para la mejora de calidad del aire de Santa Cruz de Tenerife.

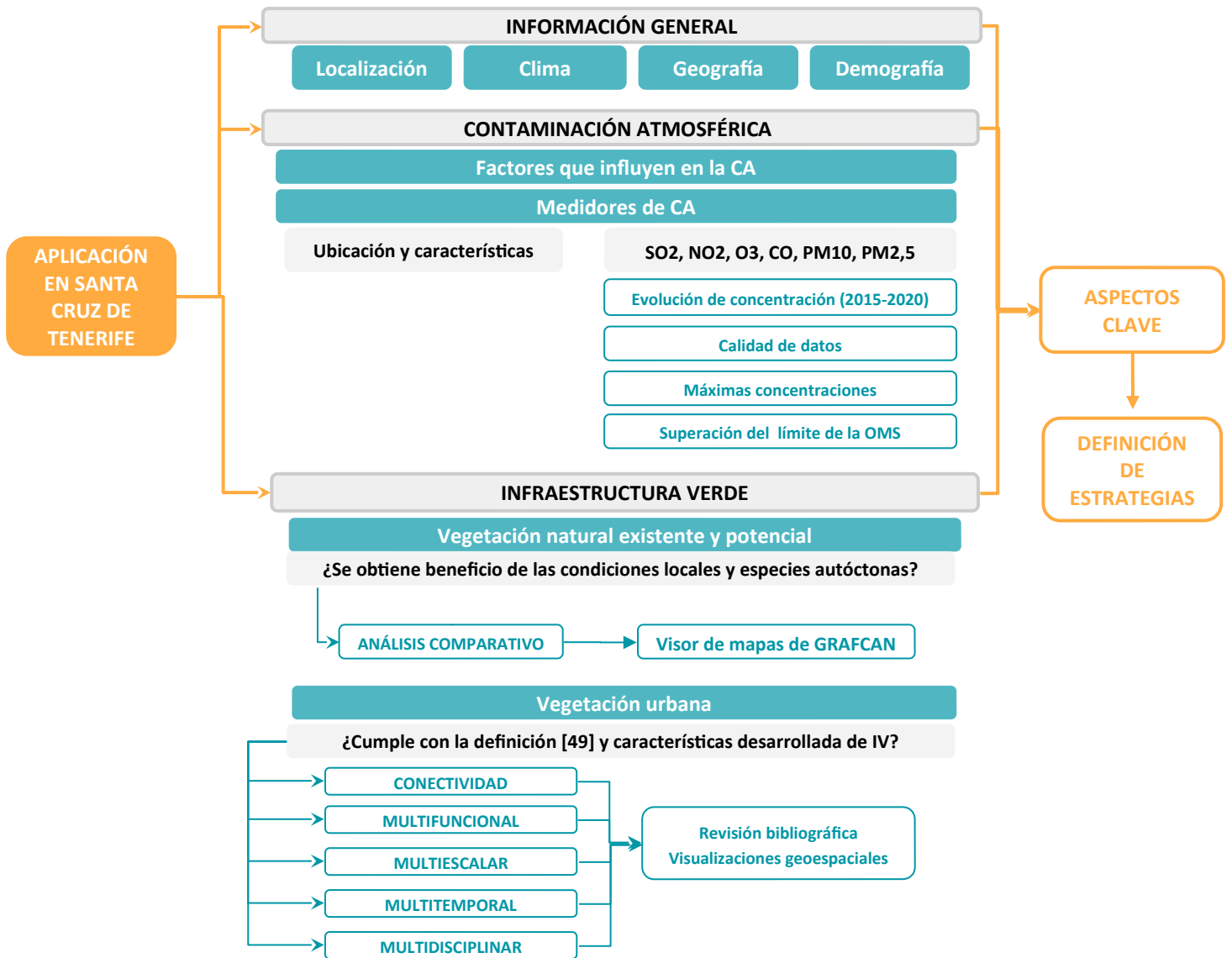


Figura 3.2. Esquema resumen de metodología desarrollada para la Aplicación en Santa Cruz de Tenerife. Elaboración propia

En primer lugar, se ha recogido **información general** del área de estudio, necesaria para comprender la situación de partida y definir las características principales. A continuación, se ha evaluado la **contaminación atmosférica** de Santa Cruz de Tenerife. Para ello, mediante una revisión bibliográfica se han identificado los principales factores que influyen en la calidad del aire. El proceso de búsqueda y selección de artículos se ha basado en los siguientes criterios:

- Publicaciones científicas relativamente recientes y disponibles en base de datos oficiales.
- Palabras clave empleadas: calidad del aire, contaminación atmosférica, Santa Cruz de Tenerife

Por otro lado, se han tomado los datos medios horarios disponibles por la Red de medidores de Calidad del Aire del período de tiempo comprendido entre 2015-2016. Se analiza los denominados por la OMS **contaminantes clásicos**, que se tratan de los más perjudiciales para la salud: **SO₂, NO₂, O₃, CO, PM₁₀, PM_{2,5}** [8]. Tomando de referencia el análisis realizado por [5], se ha evaluado para cada contaminante y en cada estación de medición los siguientes puntos.

- **Evaluación de concentración media anual (2015-2020):** se han tomado los valores medios anuales y se ha determinado la tendencia de cada contaminante por estación en ese periodo tiempo.
- **Calidad de los datos:** la Directiva 2008/50/CE de la UE (CE 2008) lo define como el porcentaje de disponibilidad de datos horarios a lo largo del año. Siendo para SO₂, NO₂, PM₁₀ y PM_{2,5} del 90% ,y para O₃ del 75%.
- **Máxima concentración media horaria**
- **Nº de días que se superan los límites recomendados por la OMS:** siguiendo las directrices comentadas anteriormente, tanto a largo como a corta exposición.

Para la **evaluación de la IV** del caso de estudio, se ha analizado tanto la vegetación urbana, vegetación natural actual como la vegetación natural con mayor potencial en la zona. A través de la herramienta web de visor de mapa Grafcan desarrollada por el Gobierno de Canarias, se ha identificado, y posteriormente comparado la actual vegetación disponible con la vegetación con mayor potencial de desarrollo. Con el fin de evaluar si el área de estudio se ajusta y se beneficia de las condiciones locales y especies autóctonas. Mientras, la vegetación urbana ubicada en el casco antiguo de la ciudad y alrededores, ha sido determinada a través de la revisión bibliográfica de artículos científicos y periodísticos, y visualizaciones geoespaciales. De esta manera, atendiendo a la definición de IV descrita en este trabajo, determinar si, actualmente, Santa Cruz de Tenerife cuenta realmente con una adecuada y completa IV.

Finalmente, tras conocer los detalles respecto a la contaminación atmosférica e IV de Santa Cruz de Tenerife, se han elaborado una serie de propuestas de IV para la mejora de la calidad del aire de la ciudad. Debido a la complejidad que supone el proceso de planificación de IV, se han planteado únicamente **estrategias aisladas y simplificadas** que puedan conformar parte de una futura red conectada, más compleja, multidisciplinar y de una mayor escala de IV.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1. CALIDAD DEL AIRE (CA)

4.1.1. Calidad del aire y contaminación atmosférica

Una buena calidad de aire (CA) implica no exceder ciertos límites específicos que puedan generar daños en la salud y bienestar de los seres vivos que habitan un entorno. Normalmente, en la mayoría de estudios científicos y directrices políticas, se relaciona CA únicamente el término de contaminación atmosférica. Sin embargo, este concepto engloba la posible contaminación lumínica y visual [9][10], niveles de ruido [11][12] y olores [13], los cuales se han demostrado que también presentan graves afecciones en la salud de las personas. Este trabajo se ha centrado en la contaminación atmosférica, principalmente por las graves y directas consecuencias que provocan en la salud de las ciudades.

La contaminación atmosférica consiste en la modificación de la atmósfera, debido a la liberación de determinadas sustancias químicas o partículas, que pueden provocar molestias, enfermedades o la muerte de los seres humanos, además de causar daño a otros organismos o al medio ambiente [14]. Dependiendo de la fuente de contaminación puede ser caracterizada como contaminación del aire exterior o contaminación del aire interior [15]. Debido a que la escala de estudio de este trabajo es a nivel de ciudad, únicamente se evalúa la contaminación atmosférica exterior.

Fuentes naturales, como erupciones volcánicas, incendios forestales o tormentas de polvo, pueden liberar diferentes contaminantes en el medio ambiente. Algunos factores naturales que caracterizan un espacio, como su geografía, el viento predominante y local, y las temperaturas, pueden influir en gran medida en el nivel de contaminación atmosférica [16]. Por ejemplo, regiones con una geografía más montañosa presentan una menor capacidad de dispersión de los contaminantes, o en zonas costeras con cordillera interior sufren variaciones de nivel de contaminación a lo largo del día dependiendo de la dirección de la brisa. De esta manera, presenta menores niveles de contaminación durante la noche, ya que el viento desplaza los contaminantes desde la tierra hacia el mar. Por otro lado, cuando el aire presenta unas temperaturas más reducidas, los contaminantes tienden a quedar retenidos bajo una capa de aire denso y frío, lo que genera un aumento de contaminantes en la capa más cercana a la superficie. Es por este motivo, que la calidad del aire suele presentar valores más bajos en los meses de invierno.

Sin embargo, las actividades antropogénicas son la principal causa de los altos niveles de contaminación atmosférica [17]. Es por este motivo, que las ciudades y sus alrededores son los espacios con mayor vulnerabilidad a la contaminación atmosférica, ya que normalmente son regiones con una mayor densidad poblacional y, por tanto, generadoras de un mayor impacto humano. En general, la morfología de los edificios y urbanizaciones de las zonas urbanas, así como la menor cantidad de fuentes de emisión (tráfico, industria, etc.) en entornos rurales, explica que su calidad del aire sea mejor en comparación con las zonas urbanas [18]. El proceso de urbanización, la expansión del suelo construido, el desarrollo de la industria pesada urbana, el aumento de consumo energético y el incremento del uso del automóvil son algunas de las principales causas de la contaminación atmosférica [19].

A su vez, las fuentes contaminantes derivadas de la actividad humana, se pueden diferenciar en función de las **fuentes emisoras de contaminación**, pudiendo ser fijos, móviles (vehículos, barcos, transporte) o compuestos (áreas industriales o urbanas con gran densidad de tráfico y de población). Dentro de los focos fijos se pueden distinguir focos industriales (chimeneas de diferentes procesos industriales, instalaciones fijas de combustión) y focos domésticos (calefacción). También pueden categorizarse atendiendo a su **distribución espacial**: puntuales (chimenea aislada), lineales (carreteras, autopistas, calles o avenidas urbanas) y superficiales (zona industrial en su totalidad) [20].

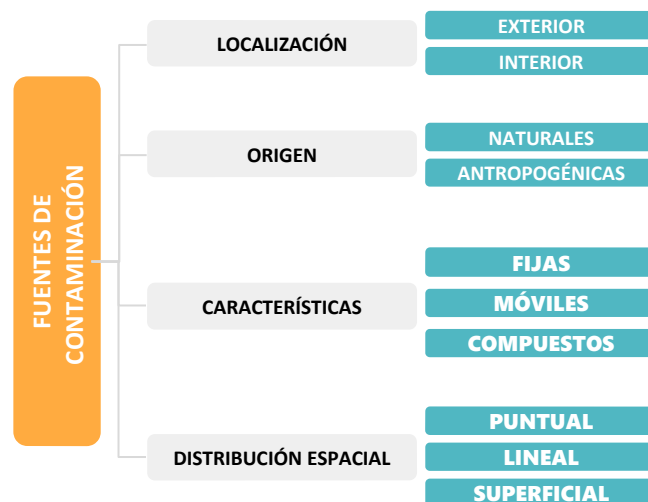


Figura 4.1. Clasificación de fuentes de contaminación atmosférica. Elaboración propia

En el entorno urbano, el tráfico rodado es considerado la principal fuente de contaminación atmosférica, ya que puede afectar en gran medida a la población. En 2015 se estimó que el 66% de la población de Pekín, el 41% de Nueva Delhi, el 67% de París y el 96% de Barcelona estaban expuestos a altos niveles de contaminación atmosférica provenientes del tráfico [15]. En las zonas urbanas europeas, se estima que el tráfico supone en las concentraciones de PM_{2,5} un 14% del total, pudiendo alcanzar el 39% en determinadas ciudades, y a las concentraciones de NO₂ en un 47% llegando en algunos casos hasta el 70% [21].

En cuanto a los procesos de urbanización, también se ha investigado sobre su afección en la contaminación atmosférica [18] [19] [22]. La urbanización tiene efectos tanto negativos como positivos en la calidad del aire, lo cual está relacionado con las etapas y políticas de urbanización [19]. Por ejemplo, la urbanización, por un lado promueve una mayor aglomeración, que provoca un aumento del polvo urbano y congestión de carreteras, y consecuentemente un aumento de emisiones contaminantes. Sin embargo, una concentración de población favorece al uso intensivo de energía, el cambio a combustibles más limpios, reduce el uso de energía primaria rural, lo cual es beneficioso para la mejora de la calidad del aire. Este estudio, también concluyó que las ciudades con una mayor tasa de urbanización presentan menores concentraciones de contaminación atmosférica. De esta manera, un aumento de la densidad poblacional podría reducir la contaminación atmosférica, siendo el uso de energías limpias y de transporte público dos aspectos claves de desarrollo.

Por otro lado, la contaminación atmosférica presenta una desequilibrada distribución espacial. Caracterizada por la diversidad de etapas de urbanización dadas por las diferencias en el desarrollo económico, los niveles de ciencia y tecnología, la ubicación y características históricas que se pueden dar en diferentes regiones. En general, los países con mayores ingresos, que consecuentemente han podido desarrollar procesos de urbanización rápidos, presentan una mejor calidad de aire [22].

4.1.2. Contaminantes atmosféricos

Existen diversos **contaminantes atmosféricos** que se distinguen en sus composición química, propiedades de reacción, emisión, persistencia en el medio ambiente, capacidad de ser transportados en largas o cortas distancias y su afección en la salud de los seres vivos. Atendiendo a algunas características comunes, se puede diferenciar en cuatro categorías [17]:

- **Contaminantes gaseosos (SO₂, NO_x, CO, O₃, COVs):** principales contribuyentes de las variaciones atmosféricas.
- **Contaminantes orgánicos persistentes (dioxinas):** sustancias químicas que permanecen en el ambiente durante largos periodos de tiempo. En el caso de las dioxinas, formadas por una combustión incompleta con contenido de cloro, tienden a depositarse en suelo y el agua, y al ser insolubles en agua, favorecen su intrusión en la cadena trófica.

- **Metales pesados (Pb, Hg, Cd, Cr, V, Mn y Ni):** pueden originarse de forma natural, presentes en la corteza terrestre, o generadas por fuentes como la combustión, los vertidos de aguas residuales y las instalaciones de fabricación. Estos elementos son altamente resistentes, no pueden degradarse ni destruirse fácilmente.
- **Partículas:** mezclas complejas y variables en tamaño y composición, ya que pueden absorber y transferir una multitud de contaminantes. Sus principales componentes suelen ser metales, compuestos orgánicos, material de origen biológico, iones, gases reactivos y el núcleo de carbono de las partículas. Pueden ser producidas tanto por actividades naturales como antropogénicas.

A su vez, en función de su origen los contaminantes pueden clasificarse en **primarios** y **secundarios** [20]. Siendo los primarios aquellas sustancias que son directamente vertidas de la fuente emisora, mientras que los secundarios se generan a partir de reacciones físicas y químicas que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera. Los contaminantes primarios son más significativos que los secundarios, ya que representan más de un 90% de la contaminación atmosférica. En la siguiente *Tabla 4.1.* se muestra la clasificación en función de su origen, así como sus principales fuentes emisoras:

ORIGEN	CONTAMINANTE	FUENTE EMISORA
PRIMARIOS	CO	- Combustión incompleta del carbón - Fuentes naturales - Automóviles
	NO _x	- Transporte - Generación de energía - Fuentes industriales, comerciales y domésticos que queman combustible
	SO ₂	- Combustión de carburantes fósiles que contienen azufre (petróleo, combustibles sólidos) - Procesos industriales de alta temperatura - Generación eléctrica - Calefacciones centrales - Fuentes naturales: volcanes
	PM	- Polvo y partículas del suelo - Partículas salinas marinas - Esporas y pólenes - Tráfico rodado y automóviles - Procesos de combustión (industrial y calefacción residencial)
	Metales pesados	- Grandes instalaciones de combustión - Transporte - Cementeras - Instalaciones de incineración y co-incineración de residuos
	COVs	- Quema de combustibles (gasolina, madera, carbón o gas natural) - Productos industriales; disolventes, pinturas, plásticos, aromatizantes, etc.
SECUNDARIOS	HNO ₃	- Mezcla de óxido de nitrógeno con vapor de agua en el aire
	H ₂ SO ₄	- Reacción entre el dióxido de azufre y un radical hidroxilo, impulsada por la luz solar
	O ₃	- Formado por la acción de la radiación solar con óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos.
	PM	- Reacciones químicas a partir de gases precursores: componentes inorgánicos secundarios (SO ₂ , NO _x , NH ₃) y compuestos orgánicos a partir de COVs

Tabla 4.1. Contaminantes atmosféricos en función de su origen y principales fuentes emisoras. Elaboración propia.

El monóxido de carbono (CO) se trata de un gas tóxico incoloro, no irritante, inodoro e insípido, lo que provoca que sea indetectable para el ser humano. Además, presenta gran facilidad para mezclarse y moverse con el aire. El CO es ligeramente soluble en el agua, el suero sanguíneo y el plasma, de tal manera que reacciona con la hemoglobina para formar carboxihemoglobina (COHb).

Los NO_x , se refiere principalmente a NO y NO_2 , los cuales se originan a partir de una reacción endotérmica entre oxígeno (O_2) y nitrógeno (N_2). Estos compuestos son de gran preocupación, debido a su alta capacidad reactiva, lo cuál aumenta la probabilidad de producción de compuestos peligrosos en el aire, como es el caso del ozono fotoquímico o también conocido como smog [23]. De esta manera, el NO_2 determina las concentraciones de ozono en la troposfera. El óxido nítrico (NO) es el compuesto que se emite a la atmósfera con mayor frecuencia, el cuál se combina con el oxígeno presente en la atmósfera por la acción de la luz solar, generando dióxido de nitrógeno (NO_2), considerado uno de los mayores contaminantes del aire [24]. Por otro lado, es un precursor clave de otros contaminantes secundarios peligrosos como PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$.

Los NO_x pueden producir ácido nítrico, y el SO_2 en presencia de catalizadores metálicos pueden formar ácido sulfúrico. A su vez, la combinación de estos dos contaminantes secundarios puede generar deposición ácida o como comúnmente se conoce como lluvia ácida. Por otro lado, el NO_2 y los COVs son los principales precursores que contribuyen a la formación de O_3 [8].

El material particulado atmosférico varían en gran medida en sus características físico-químicas, como su origen y vías de formación, y consecuentemente en sus efectos en la salud y medio ambiente. Se clasifican en función de su diámetro aerodinámico: PM_{10} (partículas de menos de $10\ \mu\text{m}$ de diámetro), $\text{PM}_{2,5}$ (menores de $2,5\ \mu\text{m}$) y $\text{PM}_{0,1}$ o partículas ultrafinas (menores de $0,1\ \mu\text{m}$). Las partículas de mayor tamaño se componen en gran medida de partículas primarias tanto de origen natural como por actividades humanas. Sin embargo, las más finas están compuestas por elementos partículas secundarias formadas mediante procesos químicos dados por precursores gaseosos como el NO_x , el SO_2 , COV y el NH_3 [25]. Cuanto más reducido sea su diámetro presentan un mayor riesgo para la salud debido a su mayor facilidad de penetración en los organismo.

La contaminación atmosférica puede suponer graves impactos en la salud de las personas, reducir la visibilidad, favorecer al cambio climático y daños a los edificios [18]. Este trabajo se centra especialmente en las consecuencias en la salud de las personas.

4.1.3. Efectos de la contaminación atmosférica en la salud

Existen una gran cantidad de evidencias científicas que demuestran la gran afección que suponen los contaminantes atmosféricos en la salud humana. En la *Tabla 4.2* se recogen algunos ejemplos de estudios que evalúan la relación entre los contaminantes atmosféricos y la salud humana. Se ha completado la tabla disponible en el estudio de revisión [26].

La diferente composición de los contaminantes, así como la dosis, el tiempo de exposición y la mezcla de diferentes contaminantes provocan diversos efectos perjudiciales en la salud. Los datos epidemiológicos muestran que el sistema respiratorio y cardiovascular son los más afectados, sin embargo otros sistemas como el nervioso, urinario, digestivo y una exposición durante el embarazo, también pueden verse afectados [17]. Además, según el *"Informe sobre el estado del aire en el mundo (2020)"*, la contaminación atmosférica se trata de la cuarta causa de muerte prematura [15]. Por otro lado, una mala calidad del aire dada por la contaminación atmosférica, también puede poner en peligro la salud mental de las personas [27]. En este estudio, también se concluyó que el nivel de impacto de la contaminación atmosférica en la salud mental variaba entre diferentes subpoblaciones, de tal manera que personas con bajos ingresos presentan una mayor probabilidad de verse afectada negativamente.

AUTORES (AÑO)	ÁREA DE ESTUDIO	EFFECTO SOBRE LA SALUD	CONTAMINANTE	CONCLUSIONES
Marchetti et al. (2019) [28]	El Gran Cairo, Egipto	Efectos en las células pulmonares humanas	PM _{2,5}	Las PM _{2,5} mostraron diferentes efectos biológicos en las células pulmonares humanas expuestas in vitro.
Mohammed et al. (2019) [29]	Sectores de Shoubra El-Khaima y Ain Sokhna, Egipto	Casos respiratorios de ingreso hospitalario	SO ₂ y NO ₂	Los resultados mostraron importantes diferencias en la asociación (SO ₂ y NO ₂) con los ingresos hospitalarios en las dos ciudades estudiadas
Wheida et al. (2018) [30]	Gran Cairo, Egipto	Mortalidad atribuible a la exposición a largo plazo	PM _{2,5} , NO ₂ y O ₃	Las PM _{2,5} , causan una mortalidad de 62/100000 en relación con toda la población del Gran Cairo. El gas O ₃ es responsable de entre el 2,4 y el 8,8% de la mortalidad por enfermedades respiratorias y el NO ₂ se considera responsable de entre 7850 y 10.470 muertes al año en la zona de estudio
Guzmán et al. (2022) [31]	Europa	Enfermedades neurodegenerativas (enfermedad de Alzheimer, EA, y demencia de causa no especificada, DU)	NO ₂ y PM _{2,5}	Se prevé un aumento importante de la tasa de incidencia futura (en torno al 72% para EA y DU) considerando el efecto del cambio climático y cambios previstos en la población futura.
Vilcassim et al. (2019) [32]	Nueva York, EEUU	Salud cardiopulmonar	PM _{2,5}	La exposición al aumento de PM _{2,5} relacionada con los viajes afecta negativamente a la salud cardiopulmonar, lo que puede ser especialmente importante para los viajeros con enfermedades respiratorias o cardíacas preexistentes.
Zhijiang et al. (2019) [33]	7 ciudades Chinas	Exposición materna a la contaminación atmosférica y el parto prematuro entre los residentes locales y los inmigrantes.	PM _{2,5} , O ₃ , SO ₂	Las exposiciones maternas a PM _{2,5} , O ₃ y SO ₂ podrían ser importantes factores de riesgo de parto prematuro, especialmente entre las inmigrantes que sufrieron unos efectos más fuertes de los contaminantes atmosféricos.

Tabla 4.2. Resumen de estudios que relacionan la contaminación atmosférica con la salud de las personas. Elaboración propia.

Debido a la alta preocupación presente y futura de la salud de las personas, sobre todo en los espacios con mayor densidad poblacional, como son los entornos urbanos, ha provocado que en las últimas décadas se hayan diseñado una serie de Directrices con el objetivo principal de reducir la afección de contaminantes en el aire.

Recientemente en el 2021, la **Organización Mundial de la Salud (OMS)** ha actualizado sus **Directrices de Calidad del Aire (AQG, Air Quality Guidelines)**[8]. Las AQG consisten en un valor numérico expresado como la concentración de un contaminante vinculado a un tiempo medio. De esta manera, es posible identificar una serie de valores límite de concentración a partir de los cuales empieza a suponer efectos adversos para la salud. Se establecen unas recomendaciones AQG sobre los contaminantes clásicos, los cuales son identificados como los más perjudiciales para la salud humana. Son **contaminantes atmosféricos clásicos** las **PM₁₀, PM_{2,5}, O₃, NO₂, SO₂, CO**.

Las Directrices específicas, también se diferencian por el tiempo de exposición, pudiendo identificarse exposición a largo plazo y exposición a corto plazo. A continuación se detallan las diferentes recomendaciones AQG para cada contaminante y tiempo de exposición.

	LARGO PLAZO DE EXPOSICIÓN	CORTO PLAZO DE EXPOSICIÓN
PM_{2,5}	Es un nivel anual de 5 µg/m ³	A corto plazo (24 horas) de 15 µg/m ³ , definido como el percentil 99 (equivalente a 34 días de superación por año) de la distribución anual de las concentraciones medias de 24 horas.
PM₁₀	Es un nivel anual de 15 µg/m ³ . No se considera la gran proporción de PM _{2,5} que compone el PM ₁₀ (aproximadamente 50-80% en peso). En todas situaciones en las que se disponga de mediciones tanto de PM _{2,5} como de PM ₁₀ , se debe dar preferencia al nivel de PM _{2,5} .	A corto plazo (24 horas) de 45 µg/m ³ , definido como el percentil 99 (equivalente a tres o cuatro días de superación por año) de la distribución anual de las concentraciones medias de 24 horas.
O₃	En temporada alta de 60 µg/m ³ (la media de las concentraciones máximas diarias de ozono en 8 horas). La temporada alta se define como los seis meses consecutivos del año con la mayor concentración de ozono de los últimos seis meses.	La recomendación es un máximo diario a corto plazo de ozono en 8 horas AQG de 100 µg/m ³ , definido como el percentil 99 (equivalente a tres o cuatro días de superación al año) de la distribución anual
NO₂	Es un nivel anual de 10 µg/m ³ .	A corto plazo (24 horas) de 25 µg/m ³ , definido como el percentil 99 (equivalente a tres o cuatro días de superación al año) de la distribución anual de los valores de dióxido de nitrógeno de 24 horas.
SO₂		A corto plazo (24 horas) de 40 µg/m, definido como el percentil 99 (equivalente a tres a cuatro días de superación por año) de la distribución anual de las concentraciones medias de 24 horas.
CO		A corto plazo (24 horas) de 4 mg/m ³ , definido como el percentil 99 (equivalente a tres o cuatro días de superación al año) de la distribución anual de los niveles de monóxido de carbono de 24 horas.

Tabla 4.3. Directrices AQG por contaminantes clásico para exposiciones a largo plazo (izq.) y a corto plazo (der.) [8]. Elaboración propia.

Los valores límites establecidos por la OMS se han respaldado en la evaluación de una serie de estudio científicos que vinculan los tipo de contaminante, así como tiempo de exposición de los mismos, en la salud humana. En la siguiente *Tabla 4.4.* se recoge los estudios que ha tomado de referencia la OMS:

AUTORES (AÑO)	OBJETIVO	CONCLUSIONES
Chen & Hoek (2020) [34]	Revisión sistemática y meta-análisis. Evalúa exposición a largo plazo PM ₁₀ y PM _{2,5} en relación con la mortalidad por todas las causas y por causas específicas	Falta de estudios en países de ingresos bajos y medios. Las PM _{2,5} y las PM ₁₀ están asociadas a un aumento de la mortalidad por todas las causas, las enfermedades cardiovasculares, las enfermedades respiratorias y el cáncer de pulmón
Huangfu & Atkinson (2020) [35]	Revisión sistemática y meta-análisis. Evalúa la exposición a largo plazo de NO ₂ y O ₃ en relación a la mortalidad por todas las causas y respiratoria.	Asociaciones positivas entre las concentraciones a largo plazo de NO ₂ y la mortalidad y pruebas limitadas para el O ₃ y la mortalidad.
Orellano et al (2020) [36]	Exposición a corto plazo a partículas (PM ₁₀ y PM _{2,5}), dióxido de nitrógeno (NO ₂) y ozono (O ₃) y mortalidad por todas las causas y por causas específicas: Revisión sistemática y meta-análisis	Asociación positiva entre la exposición a corto plazo a PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ y O ₃ y la mortalidad por todas las causas, y entre PM ₁₀ y PM _{2,5} y la mortalidad cardiovascular, respiratoria y cerebro vascular
Orellano, Reynoso & Quaranta (2021) [37]	Exposición a corto plazo al dióxido de azufre (SO ₂) y mortalidad por todas las causas y respiratoria: Una revisión sistemática y un metaanálisis	Asociaciones positivas entre la exposición a corto plazo al SO ₂ ambiental y la mortalidad por todas las causas y la mortalidad respiratoria
Zheng et al. (2021) [38]	Exposición a corto plazo al ozono, al dióxido de nitrógeno y al dióxido de azufre y visitas a los servicios de urgencias e ingresos hospitalarios por asma: Una revisión sistemática y un metaanálisis	La exposición a corto plazo a O ₃ , NO ₂ y SO ₂ diarios se asoció con un mayor riesgo de exacerbación del asma en visitas a urgencias e ingresos hospitalarios asociados al asma.
Lee et al. (2020) [39]	Exposición a corto plazo al monóxido de carbono e infarto de miocardio: Una revisión sistemática y un metaanálisis	Asociación de infarto de miocardio con exposición de CO. Necesidad de mayor investigación en países de ingresos bajos y medios.

Tabla 4.4. Resumen de estudios evaluados por la OMS para la elaboración AQG [8]. Elaboración propia.

La aplicación de dichas directrices han supuesto importantes reducciones de algunas emisiones, sin embargo, el incremento de otras. En el estudio [40] ha analizado la evolución de emisiones en el caso de los 27 países miembros de la Unión Europea y el Reino Unido entre el año 2000 y 2017. Se ha concluido que la implementación de las directrices de la OMS han logrado una disminución de 80% de SO₂, 46% de NO_x, 30% de PM₁₀ y PM_{2,5}, pero se ha producido un aumento de los niveles de O₃. Además la población urbana estaba expuesta a niveles ampliamente superiores de PM_{2,5} y O₃. Cabe destacar, la necesidad de adoptar medidas en todos los niveles de gobernanza, con el fin alcanzar los objetivos de manera más eficaz de las Directivas sobre la mitigación de los efectos de la contaminación atmosférica. Mientras, otros estudios, como [21], cuestionan si las medidas establecidas por la OMS son suficientes para reducir la mortalidad prematura anual. En este estudio, se ha concluido la necesidad en la revisión de las directrices actuales, reduciendo aún más la concentración de contaminantes para lograr una mayor protección de la salud en las ciudades.

4.2. INFRAESTRUCTURA VERDE Y AZUL (IV)

4.2.1. Soluciones basadas en Naturaleza e Infraestructura Verde

Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) se trata de un concepto amplio y que ha sido empleado con una gran variedad de definiciones. En el desarrollo de este proyecto, se toma como definición de referencia la establecida por la Comisión Europea [41] ya que se considera adecuada y completa para su implementación en distintos sectores. De esta manera, se entiende como Solución Basada en la Naturaleza como toda aquella intervención urbana que:

- Se basan en la naturaleza y se aprovechan de sus características y procesos de sistemas más complejos, como por ejemplo el almacenamiento de carbono y regulación del flujo del agua.
- Tienen como objetivo hacer frente de forma sostenible a los principales desafíos tanto sociales, como ambientales y económicos, que derivan del cambio climático.
- Presenten un desarrollo energéticamente eficiente, económicamente viables y no supongan un elevado consumo de recursos.
- Se encuentren adaptadas a las condiciones locales.

Por otro lado, las SbN pueden categorizarse en cinco posibles enfoques basados en los ecosistemas [42], siendo la implementación de infraestructura verde (IV) y azul (BGI, Blue- Green Infraestructure) uno de ellos. En la *Figura 4.2* se muestran los diferentes enfoques comentados, así como algunos ejemplos de actuación basadas en SbN. Se entiende como IV aquellas medidas vinculadas con el entorno terrestre, mientras BGI incluye medidas naturales relacionadas con los cuerpos de agua. Sin embargo, de forma general el término simple de IV se emplea también para referirse a BGI. Por ello en el desarrollo de este trabajo, el concepto IV engloba tanto las infraestructuras verdes como azules.



Figura 4.2. Categorías y ejemplos de enfoques de SbN [42]. Elaboración propia.

El término de IV, se trata de un concepto relativamente novedoso, el cuál apareció por primera vez en la década de los noventa. Sin embargo, su concepción tiene sus raíces en los siglos XVIII y XIX derivada de dos ideas fundamentales: los parques como espacios de conexión entre espacios verde, con el beneficio conjunto para el bienestar de la sociedad, preservación de las áreas naturales y en la lucha contra la fragmentación del hábitat [43]. La primera evidencia de IV, fue diseñada por el arquitecto y paisajista estadounidense Federick Law Olmsted, que consistió en un sistema de parques urbanos unidos entre sí, desarrollado en las ciudades de Nueva York y San Francisco. El principal objetivo de la estrategia era la gestión del agua que estaba provocando graves problemas en la salud de las personas. Más adelante, se continúa profundizando sobre la idea de un sistema interconectado, desarrollado principalmente a una escala reducida, bajo una perspectiva americana, y centrada principalmente en la gestión de las aguas en los entornos urbanos. Actualmente, a nivel europeo, se ha evaluado los posibles beneficios que puede disponer la IV a partir, por un lado, de los servicios ecosistémicos, y por otro lado por una mayor aplicación multiescalar.

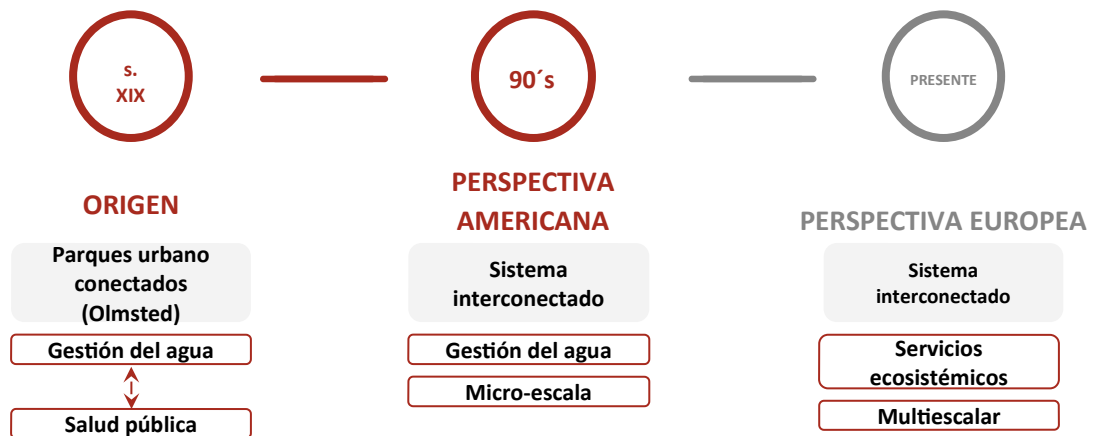


Figura 4.3. Evolución del término de IV. Elaboración propia.

Se entiende como servicio ecosistémico como cualquier recurso o procesos natural que aporta un beneficio a las personas, pudiendo distinguir principalmente cuatro categorías: abastecimientos y suministro, regulación, culturales y servicio de mantenimiento y soporte [44].



Figura 4.3. Esquema de los servicios ecosistémicos: descripción y ejemplos [44]. Elaboración propia

No obstante, el concepto de IV se ha utilizado confusamente, ya sea simplificando su definición o relacionándolo con otros términos como la construcción verde, infraestructuras para gestión de inundaciones pluviales [43] o vegetación urbana desarrollada de manera espontánea y sin control. Al igual que SbN ha sido definido de numerosas maneras. En la siguiente *Tabla 4.5* se recogen algunos ejemplos que se han desarrollado, tanto en el ámbito científico como político.

FUENTE (AÑO)	DEFINICIÓN
Comisión Europea (CE) (2013) [45]	“Red estratégicamente planificadas de áreas naturales y seminaturales con otras características medioambientales diseñadas y gestionadas para ofrecer una amplia gama de servicios eco-sistémicos”
Agencia de Protección Medioambiental (EPA) (2006) [46]	“Conjunto de áreas naturales que proporcionan hábitat, protección contra las inundaciones, aire y aguas más limpios”
Benedict y McMaha (2016) [47]	“Red que interconecta los espacios verdes que conserva los valores y las funciones del ecosistema natural y proporciona beneficios asociados a las poblaciones humanas”
Matthews et al. (2015) [48]	“Recursos biológicos de las zonas urbanas modificadas por el hombre que cumplen principalmente un función ecológica y están intencionadamente diseñados para el uso y beneficio público generalizado”

Tabla 4.5. Resumen de diferentes definiciones de IV en el ámbito político y científico. Elaboración propia

Como comentan J.Cardoso da Silva y E. Wheeler [49] tras su estudio en el que evalúa la **evolución del término de IV**, a pesar de que todas las definiciones presentan un carácter similar, es fundamental la necesidad de establecer un único término. De esta manera, se reduce el riesgo de malas interpretaciones del concepto que engloba IV y consecuentemente, el diseño de las soluciones basadas en IV presentan una mayor consistencia, eficacia y adaptabilidad. Además propone la siguiente definición para IV:

“una red de áreas naturales, seminaturales y restauradas, diseñadas y gestionada a diferentes escalas espaciales (desde la local hasta la global), que abarca todos los tipos principales de ecosistemas (marinos, terrestres y de agua dulce), y que tiene como objetivo conservar la biodiversidad, mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, permitir la adaptación de la sociedad al cambio climático y prestar una amplia gama de otros servicios de los ecosistemas” (p.2, [49]).

Debido al gran detalle que presenta esta definición propuesta se ha tomado como término de referencia para el desarrollo de este proyecto.

4.2.2. Características de la IV

Atendiendo a la definición tomada como referencia para este trabajo, se ha podido distinguir una serie de características y principios clave de la IV: la **conectividad** entre los componentes de la red, pueden ser sistemas **multifuncionales, multiescalares, multitemporales y multidisciplinarios**.

La **conectividad** es unos principios fundamentales para lograr una óptima IV. Una adecuada conectividad entre los diferentes componentes que conforman la IV, favorece a una mayor complejidad en los espacios

urbanos y sus alrededores, y consecuentemente reduciendo su vulnerabilidad, tanto en términos ambientales, sociales y económicos. De esta manera, la implementación de IV, óptimamente conectada, puede aportar una mayor complejidad, e incrementar la resiliencia de los entornos urbanos.

Por otro lado, los distintos componentes de la IV, también han sido categorizados bajo diferentes perspectivas. La Comisión Europea, bajo los modelos de la ecología del paisaje, identifica los principales elementos de la red, tomando como base sus funciones [50]. En la siguiente *Figura 4.4.* y *Tabla 4.6.* se muestran los diferentes elementos que conforman una IV.

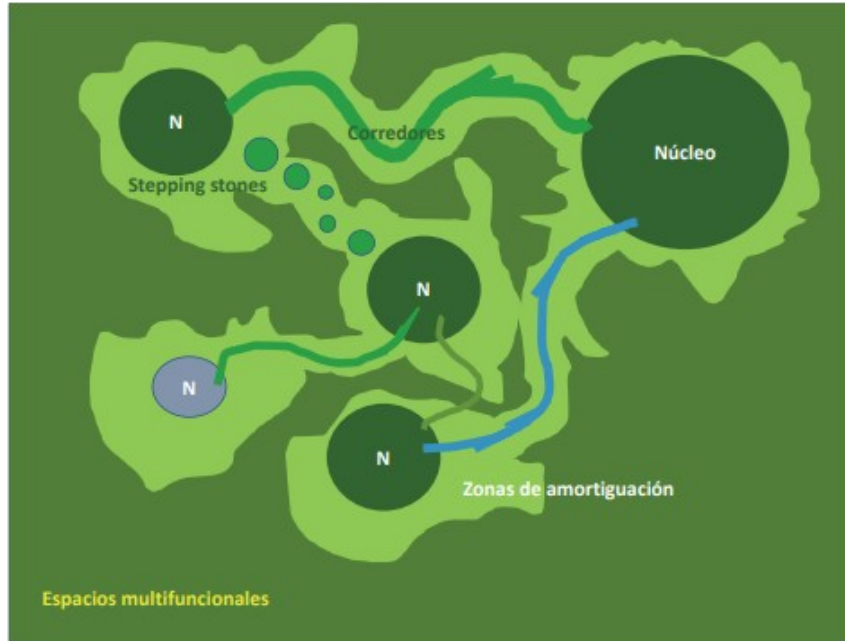


Figura 4.4. Esquema de los componentes de IV según su funcionalidad. Fuente: la Comisión Europea [50]

<p>ÁREAS NÚCLEO</p> <p>-</p> <p>Conservación de la biodiversidad</p>	<p>Áreas de alto valor ecológico</p>	<p>Áreas bajo algún régimen de protección, espacios de conservación de la vida silvestre, áreas marinas protegidas o parques naturales</p>
	<p>Ecosistemas bien conservados y áreas de alto valor ecológico fuera de los espacio protegidos</p>	<p>Llanuras, humedales, litorales, bosques naturales, superficies ocupadas por Hábitats de Interés Comunitarios prioritario.</p>
	<p>Sistemas y áreas con prácticas agrarias sostenibles</p>	<p>Sistemas agrarios de alto valor natural</p>
<p>CORREDORES ECOLÓGICOS</p> <p>-</p> <p>Garantizar conectividad ecológica y ambiental mediante nexos físicos entre los núcleos</p>	<p>Lineales</p>	<p>Largas franjas de vegetación, bosque o vegetación en los márgenes de ríos y arroyos</p>
	<p>Stepping stones</p>	<p>Pequeñas áreas independientes que facilitan el desplazamiento de la fauna, como bosquetes, grandes árboles aislados o láminas de agua</p>
	<p>Paisajísticos o territoriales</p>	<p>Franjas y elementos del paisaje sin interrupciones que permiten la actividad de especies silvestres, como vías y cinturones verdes, elementos artificiales, escalas de peces o vías pecuarias funcionales.</p>

<p>ÁREAS DE AMORTIGUACIÓN</p> <p>-</p> <p>Proteger de influencias negativas externas, mediante la compatibilización de los usos. Se trata de áreas tampón o de transición</p>	<p>Zonas de influencia forestal</p> <p>Zonas de peligro de incendios forestales o similares</p> <p>Plantaciones forestales</p> <p>Terrenos agrícolas patrimoniales</p> <p>Espacios protegidos , reservas biosfera</p>	
<p>OTROS ELEMENTOS MULTIFUNCIONALES</p> <p>-</p> <p>Desarrollo de explotación sostenible de recursos naturales y se mantiene buena parte de los servicios ecosistémicos</p>	<p>Hábitats de Interés Comunitario no prioritarios que se encuentran fuera de los espacios protegidos</p>	<p>Sistemas agroforestales de alto valor natural espacios definidos como de interés ambiental, agrario o paisajístico</p>
<p>ELEMENTOS URBANOS</p>	<p>Espacios en suelo urbano o urbanizable definidos por Planes Generales de Ordenación Urbana</p>	<p>Áreas verdes, parques, jardines, canales urbanos, ríos, riberas y dársenas, parques metropolitanos, huertos urbanos, estanques y humedales naturales y artificiales, caminos públicos y vías pecuarias, calles, árboles, fuentes, cubiertas verdes, etc.</p>

Tabla 4.6. Componentes de IV según su funcionalidad. Fuente de información: la Comisión Europea [50]. Elaboración propia.

En la literatura científica se ha analizado la relevancia de la conectividad de la IV, así como los parámetros que pueden afectar en la misma. Algunos estudios concluyen la existencia de una relación directa entre la cantidad de IV y su conectividad. Mediante un análisis espacio-temporal de la IV del área metropolitana de Ruhr, se observó la disminución de conectividad, tras la reducción de la IV con el paso del tiempo [51]. De forma similar, se concluyó que la disminución progresiva de IV provocaba una disminución de conectividad de la misma, al estudiar las modificaciones de la IV de un paisaje agrícola concreto entre 1826 y 2017, donde el cambio de uso del suelo presentaba una gran influencia [52]. En este estudio, también defendía la importancia en considerar paisajes tradicionales agrícolas como elementos núcleo de la IV.

Por otro lado, tanto las políticas como las estrategias de planificación de la IV, afectan significativamente en su nivel de conectividad [51]. En este estudio se analizó la conectividad de tres ciudades bajo sistemas de planificación y contextos sociales distintos. Mediante dos indicadores de conectividad, aislamiento de espacios verdes y hexágonos de conectividad, se pudo determinar una gran variedad de niveles de conectividad. La región que presentaba unos sistemas de planificación más estables y maduros, presentaba un conectividad con una distribución más uniforme.

En Europa, se ha producido una evolución desde los anillos verdes, diseño lineal basado en crecimiento urbano, hacia unas infraestructuras más permeables y conectadas [53]. Además, es fundamental diferenciar entre conectividad estructural y conectividad funcional. La primera está referida a los patrones paisajísticos y no necesariamente relacionado al comportamiento de ningún organismo, mientras la funcional está estrechamente relacionada con la percepción de las especies, la integridad y continuidad del proceso ecológico urbano. Se han desarrollado métodos para combinar el análisis de estas dos perspectivas de

conectividad, para el diseño de IV en entornos urbanos con una mayor conectividad del espacio ecológico, basándose en la protección de la biodiversidad y la expansión ordenada de las ciudades [54].

Otro principio clave y ampliamente estudiado de la IV es la **multifuncionalidad**. Según la Comisión Europea se entiende como “la capacidad para realizar diferentes funciones en una misma zona espacial, ofreciendo una gran variedad de soluciones a la sociedad en general”. Sin embargo, para lograr el máximo aprovechamiento es necesario que los ecosistemas estén sanos. De esta manera, los elementos considerados aptos para un IV, además de formar parte integrada de la red, deben ser de alta calidad y no actuar simplemente como un “espacio verde” [55].

La vinculación entre los principios de conectividad y multifuncionalidad puede resultar de gran interés a la hora de implementar una estrategia de IV bien estructurada y eficaz. Permite reducir el desajuste entre las áreas de servicio de demanda y las zonas de oferta, existentes en la mayoría de entornos urbanos [51]. Se entiende como área de servicio, los ecosistemas debido a su capacidad de ofrecer servicios ecosistémicos, ya comentados anteriormente.

Por otro lado, se puede distinguir diferentes **escalas espaciales** de aplicación de la IV, donde cada una de ellas presenta diferentes necesidades y posibilidades de actuación [56]:

ESCALA	COMPONENTES	ACTUACIONES
REGIONAL Y COMARCAL	Redes ecológicas, espacios protegidos, reservorios de fauna y flora, llanuras de inundación, etc.	Protección de hábitats, restauración de espacios degradados y restitución de conectividad ecológica
MUNICIPAL Y LOCAL	Elementos con gran potencialidad ecológica como son los setos, los muros de piedra, los bosques de galería, árboles aislados, cultivos, ríos, arroyos, etc.	Desarrollo de planificación y gestión territorial y sectorial para conservar y potenciar todos estos elementos
URBANA Y DE BARRIO	Parques, jardines, calles y plazas arboladas, tejados y fachadas verdes, estanques, superficies permeables, etc.	Mejorar los índices bióticos del suelo y la biocapacidad urbana

Tabla 4.7. Componentes y actuaciones de las distintas escalas espaciales de aplicación de IV [56]. Elaboración propia.

Ejemplos como la IV en Londres, considerada la primera ciudad parque nacional del mundo, se desarrolló un proceso de diseño y planificación del paisaje a múltiples escalas, desde el Gran Londres (regional) hasta Queen Elizabeth Olympic Park (parque) [57].

Además, el diseño debe presentar un **carácter multitemporal**, ya que los proyectos planteados han de ser flexibles y libres de actualización con el objetivo de anticiparse a la futura expansión urbana y necesidades de la ciudadanía, mientras conserva y potencia los beneficios de los entornos naturales. Esta comprensión, permitirá disponer de ciudades más complejas, resilientes y sanas. También en el proceso de planificación, debido a la gran variedad de beneficios que pueden suponer, es necesario la implicación de profesionales de diferentes **multidisciplinas**, del ámbito urbanístico, ambiental, ecológico, sanitario, económico y dirección, administración, etc.

Además, se ha podido comprobar que la evolución hacia una IV más amplia, que cumpla las características anteriormente comentadas, depende significativamente del diseño y cumplimiento de las diferentes **estrategias políticas**. Es necesaria una gestión coordinada compleja entre los diversos niveles de gobiernos, para poder hacer frente conjuntamente, en la medida de lo posible, a los desafíos concretos de cada región y del conjunto.

4.2.3. Beneficios de las IV

Basándose en los servicios de los ecosistemas, los beneficios derivados de la característica de multifuncionalidad de la IV puede presentar tres posibles perspectivas [4]:

- **Económica:** favoreciendo a la reactivación y el crecimiento económico, el aumento de productividad y oportunidades de empleo. No obstante, puede forzar procesos de gentrificación y una distribución desigual de los servicios ambientales.
- **Sociocultural:** promueve actividades de ocio y comunitarias, fortalece la educación de la naturaleza, permite una mayor accesibilidad y seguridad a espacios públicos, genera áreas más saludables, fomenta una mayor participación ciudadana (cohesión social, sentimiento de pertenencia, justicia medioambiental).
- **Ecológica:** vinculadas principalmente a la mitigación y adaptación del cambio climático.

Sin embargo, otros estudios ponen en duda la relación entre los servicios ecosistémicos y los beneficios de la multifuncionalidad. Por un lado, sugiriendo falta de operacionalización de la multifuncionalidad y la inexistencia de un mediador que la vincule, así como la existencia de posibles conflictos entre ambos [4].

Los estudios se han centrado principalmente en la evaluación de los **beneficios ambientales** que supone la implementación de IV. Sobre todo, en esta última década, ha sido un campo de investigación de rápido crecimiento [58]. Esta revisión bibliográfica, evaluó las contribuciones de la IV a la adaptación y la mitigación, además de los co-beneficios y compensaciones asociados a la distintas tipologías de IV. Por ejemplo, el beneficio directo de la absorción potencial del carbono dada por los árboles, puede generar una serie de co-beneficios como la mejora de la calidad del aire, gestión de inundaciones y la reducción del estrés térmico. Este estudio también concluyó que beneficios como la gestión de inundaciones y reducción de UHI y estrés térmico, existían una gran variedad de tipologías de IV, ya que su eficacia dependía fuertemente de las características del lugar. Otros beneficios climáticos si presentaban una mayor limitación a determinadas IV, como el almacenamiento y retención de carbono que se realiza principalmente mediante la absorción de árboles y bosques. Por otro lado, también se evaluaron las compensaciones entre beneficios y prejuicios en cuatro categorías: reducción de estrés térmico, calidad del aire y emisiones de carbono, calidad del agua y salud/bienestar y desventaja económica. Respecto a la calidad del aire se enumeraban los siguientes problemas más comunes [58]:

- Impactos en la salud por las emisiones de COVs y el polen de los árboles
- Aumento de la contaminación del aire debido a la mala ventilación o contaminantes atmosféricos resuspendidos por la vegetación urbana.
- Vinculación entre la combustión de biomasa para producir energía y la contaminación atmosférica.

La IV también aporta una gran amplitud y diversidad de **beneficios culturales** [59]. Tras la evaluación de diversos estudios realizados en Europa, se identificó los principales beneficios culturales obtenidos en la IV urbana y periurbana, como en el aprendizaje y salud de los ciudadanos, económicos, conexiones sociales, conexiones con la naturaleza, experiencia sensoriales y simbólicos. Para lograr el bienestar social, destaca la importancia entre los tipos de espacios con los que se relacionan las personas, las prácticas que llevan a cabo en esos espacios y los beneficios que obtienen a través de esta interacción.

Con el fin de lograr un proceso de planificación de IV óptimo, puede ser adecuado tener en cuenta la combinación de los posibles beneficios de la IV, así como las prioridades de las partes interesadas locales. Por ejemplo [60], a través de un modelo MCE (Mecanismo de Corrección de Error) basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), realiza un enfoque de planificación espacial que integra los beneficios de IV más comúnmente citados (gestión aguas pluviales, vulnerabilidad social, pobreza de parques, el UHI, contaminación del aire y la conectividad). Primero se mapean individualmente las áreas prioritarias para los seis criterios, posteriormente se combinan considerando las prioridades locales, con el objetivo de evaluar posibles compensaciones espaciales y crear planes que incorporen una mayor variedad de beneficios socioeconómicos, medioambientales y prioridades de resiliencia local.

Se ha podido comprobar los diversos beneficios que pueden aportar la IV, logrando la mejora indirecta de los entornos construidos y potenciando los servicios ecosistémicos. También es fundamental ser consciente de los posibles aspectos adversos como la gentrificación y desigualdad ambiental de los grupos sociales más desfavorecidos. Por ello, algunos estudios resaltan la importancia en que el proceso de planificación se coordine con la comunidad [4].

4.3. INFRAESTRUCTURA VERDE PARA LA MEJORA DE CALIDAD DEL AIRE

4.3.1. Reducción de la contaminación atmosférica mediante IV

De forma general, atendiendo al contexto político, las diferentes estrategias vinculadas al empleo de IV en el entorno urbano presentan como objetivo principal la mitigación del efecto de isla de calor (UHI), mientras la mejora en la calidad del aire queda en un segundo plano. En cuanto al ámbito de investigación científica, también numerosos artículos evalúan fundamentalmente las consecuencias de la implementación de la IV en la UHI o analizan los efectos en conjunto con la calidad del aire atmosférico. *Fall-mann et al., 2016* [61] estudió las consecuencias en la calidad del aire dadas por diferentes medidas de mitigación de la isla de calor urbana (UHI) en un entorno urbano que presenta un episodio de ola de calor, con el fin de aportar un estudio que se anticipe a los impactos del cambio climático en verano que se darán en Europa. Mientras *Chen et al. 2018* [62] también evalúa los efectos de estrategias de reducción de UHI, concretamente el aumento del albedo urbano, en el nivel de contaminación atmosférica en entornos urbanos, centrando su estudio bajo diferentes condiciones meteorológicas. Se pudo concluir que el aumento del albedo urbano genera una reducción en la intensidad de las UHI, sin embargo supone un empeoramiento de la calidad del aire urbano.

Tanto las características como la eficacia de las IV dependen de factores como su ubicación, la escala de implementación, funcionalidad y nivel de intensidad o cercanía a la fuente contaminante. Por este motivo, a lo largo de la revisión bibliográfica de los distintos estudios analizados que vinculan la calidad del aire en las con las IV, se han podido observar diferentes enfoques desarrollados atendiendo a las **aplicaciones y funcionalidades** de la IV, los **mecanismos** de reducción de contaminantes y la **escala** de aplicación de las IV.

Respecto a las **posibles aplicaciones de las IV**, se estudian **dos funcionalidades** que presentan una relación directa con la calidad del aire: la **reducción de la contaminación atmosférica** y la **reducción y secuestro de carbono** [63]. Se entiende como **secuestro de carbono** a la capacidad que presentan ciertos elementos para absorber el carbono de la atmósfera. Las IV pueden actuar como sumideros de carbono naturales en los entornos urbanos, los cuales a partir de la fotosíntesis reducen los niveles de CO₂. De esta manera, las IV pueden suponer soluciones de mitigación y prevención primaria.

Para la mejora de la calidad de aire en las ciudades, se determina que las formas más importantes de IV son la vegetación urbana (árboles, setos situados cerca de carreteras), los muros y cubiertas verdes, parques y praderas donde el intercambio de aire es significativo [64]. *Anderson et al. 2021* desarrolla una revisión sistemática de los distintos tipos de IV, así como sus principales beneficios para hacer frente a los mayores impactos asociados a la contaminación atmosférica y entre otros impactos climáticos [63]. En ese estudio se categorizó cinco posibles configuraciones IV en función de su aplicación en el entorno urbano:

- Techos verdes
- Muros verdes
- La vegetación y silvicultura urbana
- Los sistemas de agricultura urbana (AU)
- Los sistemas de cultivo intercalado de árboles (TBI)

Para ello, realizó una revisión bibliográfica de diferentes artículos que vinculan estas aplicaciones con la calidad del aire. En el estudio se concluyó que la eficacia en la **reducción de la contaminación** en el aire depende significativamente de una serie de factores como la configuración, la orientación, la geometría y los flujos de viento del paisaje urbano. La eficacia de los **sumideros de carbono** también depende de la aplicación de la IV y varía en función de las características de la ubicación de la misma como el clima, el flujo de aire, el tipo y cantidad de vegetación, el nivel de sustrato y la gestión del paisaje.

Debido a la variación de eficacia entre las distintas configuraciones de IV, resalta la importancia de especificar el diseño de la medida de mejora para cada circunstancia concreta. Además, esta investigación relaciona la reducción de la contaminación atmosférica y el secuestro de carbono con una aplicación de IV, sin embargo,

no se ha evaluado de forma exhaustiva el efecto combinado de múltiples aplicaciones. Lo que podría ser de gran interés para evaluar las posibles mejoras o reducción de la eficacia del sistema al combinar diferentes tipologías de IV y lograr una red completa, conectada y adecuada de IV.

Por otro lado, también se han evaluado estudios que profundizan en los diferentes **mecanismos** que emplean la **IV para la mejora de la calidad del aire**. Se distinguen principalmente dos tipos: la **deposición física** y **dispersión aerodinámica** de los elementos contaminantes.

La **eficacia de deposición** sobre la superficie IV varía en función de las **emisiones contaminantes**, la **distancia entre la fuente y la IV**, la **tipología** de IV y la **superficie** que ocupa la misma. De esta manera, debido a la diferencia de características de los compuestos contaminantes, algunos estudios se han centrado en el efecto que tiene la implementación de medidas de IV específicamente en la reducción de alguno de ellos, centrándose sobre todo en aquellos que presentan un mayor efecto perjudicial en la salud. Es el caso de estudio realizado por *A.P.R.Jeanjean et al.* [65] enfoca su análisis en la deposición y dispersión de las $PM_{2,5}$. Otros estudios amplían el estudio del efecto de dispersión en un mayor número de componentes contaminantes como CO, NO₂, O₃, PM₁₀ y PM_{2,5} [66].

Una **distancia reducida** entre las distintas configuraciones de IV y la fuente contaminante favorece al proceso de deposición. Como pudo demostrar *Pugh et al. 2012* [66] que desarrolla un modelo simplificado CFD que considera la altura de los tejados para calcular la disminución de contaminantes a través de la deposición.

Por otro lado, *Sara Janhal. 2015* [68] evaluó la variación de eficacia de los dos mecanismos entre la implementación de vegetación caduca y perenne. En este estudio se pudo concluir que cuanto **mayor sea el área de superficie vegetal por unidad de volumen la probabilidad de deposición aumenta**, y además su velocidad depende significativamente del diámetro de las partículas contaminantes (valor mínimo en partículas de 0,1-0,3 μm).

La densidad de vegetación también afecta en el proceso de **dispersión**, los árboles con mayores dimensiones y densidades reducen en gran medida la dispersión. La mayoría de estudios que analizan la dispersión no tienen en consideración en el modelizado efectos como la diferencia de temperatura, que puede existir entre diferentes zonas dadas por el sombreado parcial, ni el hundimiento del aire frío. Estos dos factores presentan una estrecha relación con la vegetación, ya que las plantas tienden a disminuir las temperaturas en los entornos urbanos. Por lo que las metodologías desarrolladas en esos estudios pueden conllevar ciertas incertidumbres a la hora de evaluar el efecto real de dispersión. Sin presencia de IV la dispersión depende exclusivamente de factores como la velocidad y dirección del viento, topografía y meteorología, sin embargo la implementación de IV puede añadir otras características como su rugosidad superficial, geometría y características de deposición [64].

Tanto el proceso de deposición como dispersión, son descritos por diferentes modelos y experimentos, los cuales son ejecutados in-situ o en túneles de viento. Siendo este último una herramienta más potente y empleada para la medida de la dinámica de fluidos a nivel experimental, aunque sigue presentado ciertos desafíos como el modelizado escalado de la vegetación. *Gromke et al. 2016* [69] han logrado desarrollar un estudio en el que se tiene en cuenta tanto las emisiones como la turbulencia del aire derivada del tráfico y vegetación, la porosidad de la vegetación, y de esta manera disponer de resultados más precisos en los túneles de viento.

Normalmente, los estudios realizados se han centrado en los cañones de calles urbanas o zonas adyacentes al paso del tráfico, que se tratan de las regiones con mayores niveles de contaminación del entorno urbano. Por ejemplo *K.V.Abhijith et al. 2017* [70] identifica las principales ventajas y desventajas dada en función del tipo de vegetación y variando su configuración (árbol, seto, muro verde) para condiciones de cañón de calle y carretera abierta. En el cual se concluye que los árboles presentan en los cañones de las calles un efecto negativo sobre la calidad de aire y una gran dependencia hacia la dirección del viento, relación de aspecto y densidad de vegetación. Sin embargo, tanto una vegetación más reducida como arbustos o muros y cubiertas verdes generan un efecto positivo. En condiciones de carretera abierta, una vegetación con reducida

porosidad, alta y ancha favorece a la disminución de contaminantes. Por otro lado, cabe comentar que los cañones de calle el efecto de dispersión de aerodinámica tiene mayor impacto en los niveles de contaminación que la deposición, mientras en las condiciones de carretera abierta ambos mecanismos son importantes [64].

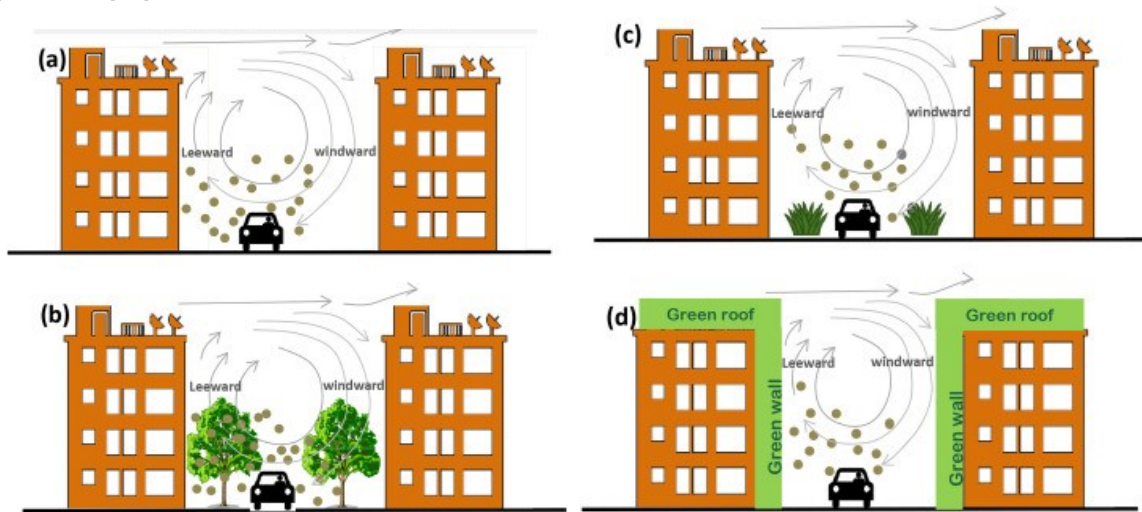


Figura 4.5. Efecto de la dispersión de contaminantes en diferentes configuraciones de cañones de calle [70]

La gran mayoría de estos estudios coinciden en la **necesidad de un modelo** que pueda **cuantificar adecuadamente los dos principales mecanismos** de reducción de contaminantes a **escala urbana**. Además, de tener en consideración la posible variación dada por la tipología de la IV y su ubicación. *A. Tiwari et al. 2019* [64] plantea un modelo de integración de IV adecuado para el entorno urbano, a partir de la combinación de efectos de deposición y dispersión. En el cual se concluye que la vegetación genera un efecto positivo en la mejora de la calidad del aire y destaca la importancia en el buen diseño de la vegetación. Aspectos como las dimensiones, la densidad y la porosidad influyen en la dilución de contaminantes con el aire limpio, el filtrado y el estancamiento o bloqueo de ventilación del aire atmosférico. Por otro lado, analiza los diferentes estudios más relevantes asociados a la velocidad de deposición a diferentes escalas. De esta manera, se comprueba la importancia en especificar la escala de aplicación, ya que tanto el modelo empleado, como la eficacia y el resultado del mismo dependerá del nivel de estudio en el que se desarrolle. En el entorno urbano, se han podido identificar fundamentalmente dos posibles escalas de estudio [64]:

- **Micro-escala o local:** corresponde a nivel barrio o calle, comprende entre 10-500 m. Los subsistemas comentados anteriormente como los caños de calle o regiones cerca de las carreteras forman parte de este grupo. Se emplean modelos a esta escala con el fin de determinar la calidad de aire cerca de una determinada fuente contaminante.
- **Macro-escala o regional:** corresponde a un nivel de ciudad entre 5-100 km.

FUNCIONALIDAD	MECANISMOS	ESCALA URBANA
REDUCCIÓN CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	DEPOSICIÓN FÍSICA	MICROESCALA O LOCAL
SECUESTRO DE CARBONO	DISPERSIÓN AERODINÁMICA	MACROESCALA O REGIONAL

Figura 4.6. Resumen de tipos estudios evaluados que relacionan la mejora de la CA con la integración de IV en entornos urbanos. Elaboración propia.

4.3.2. Modelos y herramientas para estudiar la CA

Tanto los modelos empleados a micro como a macro escala, se emplean para predecir el nivel de contaminación cerca de una determinada fuente contaminante. Sin embargo, se diferencian en los factores predominantes a tener en cuenta en el modelizado y los efectos que analizan. Por ejemplo, el proceso de dispersión a un nivel local depende de aspectos como la turbulencia inducida por la fuente, la química de los contaminantes, la meteorología local, la geometría de la fuente y los edificios circundantes, el terreno y la IV y la alternancia de flujos. Mientras que a un nivel regional, los modelos de dispersión deben tener en consideración otros parámetros más amplios como las condiciones meteorológicas y topográficas, la velocidad y dirección del viento, la temperatura ambiente, la rugosidad y pendiente del terreno, y la deposición [64].

La dependencia de los efectos la calidad del aire debido a la implementación de IV y la escala a la que se evalúa también queda demostrada por *Han et al., 2020* [71] que realizó una revisión en la que analiza la influencia de los bosques urbanos en la reducción de PM a tres escalas distintas (de un sólo árbol, rodal, regional). Los análisis a diferentes escalas indicaban que los efectos no podían considerarse únicamente positivos o negativos, ya que debían considerarse varios factores como las especies vegetales, las condiciones meteorológicas, la planificación y el diseño de la ciudad.

De forma general se han desarrollado mayor cantidad de estudios a escala local, debido esencialmente al aumento de factores a considerar y la mayor complejidad que supone un análisis a nivel ciudad. En el cual, con el fin de obtener unos resultados más concretos, se debe conocer información adicional como los datos meteorológicos, rugosidad y otros datos del terreno. En la siguiente *Tabla 4.8* se resumen los principales modelos desarrollados tanto a nivel micro-escala como macro-escala y se identifican sus principales características y limitaciones.

ESCALA	MODELO	DESCRIPCIÓN GENERAL	LIMITACIONES
MICRO - ESCALA	Modelo Gaussiano	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo de dispersión más empleado. - Se basa en la resolución de ecuaciones matemáticas en tres dimensiones (fuentes contaminantes puntuales) - Modelos avanzados: RLINE, HIWAY-2, ADMS-Road 	<ul style="list-style-type: none"> - No considera las características de los IV para el cálculo de concentraciones de contaminantes. - Los modelos avanzados no consideran el efecto de dispersión, el cuál suponen un impacto predominante a una escala local
	Modelo de Receptores	<ul style="list-style-type: none"> - A partir de relaciones matemáticas o estadísticas determinar información de las fuentes contaminantes mediante la medición en el punto receptor. Analizan el comportamiento atmosférico en el punto de impacto. - Sencillos y muy precisos 	<ul style="list-style-type: none"> - No consideran la distribución espacial de la IV ni otros parámetros como la humedad, la velocidad del viento y otros datos meteorológicos locales.
	Dinámica de fluidos computacional (CDF)	<ul style="list-style-type: none"> - Permiten la simulación numérica del flujo de viento y la transferencia de masas. - Muchos modelos desarrollados permiten simular flujos de viento complejos y problemas de transferencia de contaminantes a diferentes escalas. - Capaz de incluir geometrías complejas, turbulencias derivadas del viento y transformación de los contaminantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitaciones en simulaciones que tiene en cuenta la velocidad del viento y la concentración de contaminantes en entornos urbanos.

	Modelos híbridos	- Combinación de dos o más modelos para simular situaciones específicas y complejas.	- Dificultad para vincular distintos modelos.
	Túnel de viento	- Proceso experimental	
MACRO - ESCALA	Modelo Gaussiano	- Recurso más usado para la predicción de calidad de aire. -Suposiciones: <ul style="list-style-type: none"> • Fuente única, continua y constante • El contaminante es inerte químicamente • Condiciones meteorológicas constantes 	- Gran limitación de uso: en terreno llano, en ausencia de flujo y circulación locales y considerando una única fuente contaminante constante - No es capaz de modelizar: condiciones ambientales complejas, topografía, la química atmosférica, rugosidad del terreno, emisiones COV, ni los efectos de deposición seca, absorción, variación de concentración de fondo y combinación de dispersión-deposición.
	Modelos gaussiano modificado	- Supone una mejora del modelo Gaussiano. - Se consideran: la topografía, rugosidad, y efectos como la combinación de deposición – dispersión y la absorción de contaminantes. - Algunos ejemplos de modelos: ADMS – Urban, AERMOD, CALPUFF, SCREE	- Se mantiene constante LAI. - No considera la variación de concentración de fondo ni las emisiones de VOC.
	Modelos estadísticos	- Modelos matemáticos que predicen las concentraciones de contaminantes del aire con la ayuda de constantes desconocidas, que se estiman de acuerdo con los datos medidos.	- No tienen en cuenta la relación física entre las emisiones y la calidad del aire en determinadas condiciones meteorológicas y topográficas, no son capaces de explicar los efectos de la IV
	Modelos CFD	- Mismo concepto que en microescala	- Requiere de mayor potencial computacional que a nivel micro-escala
	Modelo de Receptores	- Mismo concepto que en microescala	- No tiene en cuenta los efectos de LAI, emisiones VOC, topografía, rugosidad de terreno ni las variación de concentración de fondo.
	Modelo Híbrido	- Mismo concepto que en microescala	- No considera las emisiones de COV ni el efecto combinado deposición-dispersión.
	Túnel de viento	- Mismo concepto que en microescala	- Grandes limitaciones en una implementación a macroescala

Tabla 4.8. Características y limitaciones de los principales modelos microescala y macroescala [64]. Elaboración propia.

Por otro lado las principales **herramientas** empleadas para estudio de de la calidad del aire en el entorno urbano son las siguientes:

- **i-Tree:** Software desarrollado por el Servicio Forestal de USDA que proporciona herramientas de evaluación de la silvicultura urbana y sus prestaciones.
- **OpenFOAM:** Software de código abierto que estudia el comportamiento de los fluidos. Se utiliza esencialmente para la Dinámica de fluidos computacional (CFD).
- **FLUENT:** Software libre para CFD.
- **RANS:** Software para CFD.
- **WRF (Weather Research and Forecasting):** es un sistema de cálculo numérico para simulación atmosférica diseñado para satisfacer las necesidades tanto de investigación como predicción atmosférica.
- **PHOENICS:** Software para CFD
- **EVI-met:** Software para CFD cerrado. Se emplea para el análisis ambiental y planificación urbana. Se basa en un modelo de microclima tridimensional y simula las interacciones climatológicas entre superficies, plantas y la atmósfera. Es el más empleado a nivel científico.

Teniendo en cuenta todo lo comentado, en la siguiente *Tabla 4.9* se han recogido una serie de estudios, que se diferencia en la escala de estudio empleada, como tipología de IV, modelo y herramienta empleada. Se ha complementado la tabla disponible en el estudio realizado por *M. Viecco et al., 2021 [72]*.

Herramienta (Modelo)	Tipo IV	Contaminante	Modelado	Ubicación (escala)	Conclusiones
I-Tree (UFORE) [73]	Vegetación y cubiertas verdes	PM ₁₀	Eliminación	Santiago, Chile (Regional)	<ul style="list-style-type: none"> - Los bosques urbanos generaban una reducción de PM₁₀. - Bosques urbanos presentan una eficacia en la mejora de la calidad del aire similar a otras medidas.
I-Tree (UFORE) [74]	Vegetación (árboles y arbustos), cubiertas y muros verdes	NO ₂ , SO ₂ , CO ₂ , PM ₁₀	Eliminación	Toronto, Canada (Regional)	<ul style="list-style-type: none"> - Determina los índices de eliminación de contaminación por hora y el valor económico que conlleva. - Tejados verdes extensivos suponen una mejor medida que árboles y arbustos. - Tejados verdes intensivos suponen un impacto más significativo en la mejora de calidad de aire.
OpenFOAM (CFD) [75]	Árboles	PM _{2,5} y NO _x	Concentración y deposición	Marylebone, UK (Local)	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de la influencia de la morfología combinada de edificios y árboles. - Los efectos aerodinámicos son similares en las distintas estaciones de las hojas, sin embargo son más significantes a velocidades de viento más reducidas. - El impacto de deposición es menor que los de dispersión. - Mayor deposición cuanto mayor densidad de vegetación

RANS (CFD) [76]	Cubiertas verdes	NO _x	Concentración	Seoul, Korea (Local)	<ul style="list-style-type: none"> - El reverdecimiento de los tejados mejora la calidad del aire cerca de las carreteras. - Grado de mejora aumenta a medida que aumenta la intensidad de la refrigeración y depende de la dirección del viento.
WRF (NOAA y NCEP) [77]	Árboles	NO ₂ , PM ₁₀ y O ₃	I-Tree+CMAQ +WRF =Vd	Baltimore (Regional)	<ul style="list-style-type: none"> - Variación de la temperatura, LAI y concentración de NO₂ en la deposición seca de NO₂. - Combinación de modelos para obtener una descripción más detallada.
i-Tree Eco [78]	<ul style="list-style-type: none"> - Árboles existentes - Nuevos árboles, cubierta verde y fachada verde - Otros escenarios: combinación 	NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , CO, O ₃	Eliminación	Melbourne, Australia (Regional)	<ul style="list-style-type: none"> - Identifica indicadores medioambientales, económicos y sociales para evaluar la mejora de CA mediante la IV. - Evalúa para diferentes escenarios las mejoras medioambientales (reducción de contaminantes), así como beneficios económicos y sociales asociados - Los árboles son la IV más adecuada para el área de estudio, ya que tiene una mayor captación de contaminantes y menores costes económicos. Mientras, las cubiertas y fachadas verdes generan más beneficios locales, ya que generan un gran ahorro energético anual. - La combinación de ambos no supuso un aumento significativo en la mejora de CA.
SNAP [79]		PM ₁₀ , O ₃	Eliminación	Italia (regional)	<ul style="list-style-type: none"> - La IV urbana eliminó 19,8 Mg de PM₁₀ y 8,6 Mg de O₃, por un beneficio monetario de 2,12 millones de euros 147*10³ respectivamente. - Se identificaron 121 ha dentro del núcleo urbano que podrían ser forestales, lo que provocaría un aumento de eliminación de PM₁₀ (49%) y O₃ (18%)

Tabla 4.9. Resumen de estudios de IV vinculados a la reducción de contaminación atmosférica.

4.3.3. Indicadores de mejora de la CA del aire mediante IV

Como se ha mencionado, la eficacia de la IV en la reducción de la contaminación atmosférica depende fuertemente de aspectos específicos, tanto de las características de la propia IV como de su futura ubicación. De esta manera, para determinar si se ha realizado una correcta planificación de la misma, es necesario establecer una serie de indicadores que permitan observar el impacto, tanto positivo o negativo que pueden generar la IV.

Tras una revisión bibliográfica, se ha podido comprobar que la mayoría de estudios, debido a la característica multifuncional de las IV, clasifican en general los posibles indicadores en tres categorías: medioambientales, socioculturales y económicos. Atendiendo únicamente a la reducción de contaminación atmosférica, los indicadores desarrollados se agrupaban en indicadores medioambientales/ecológicos, económicos y de salud. En la *Tabla 4.10* se muestra un resumen de ejemplos de indicadores empleados para evaluar la mejora de la calidad del aire, tras la implementación de IV.

ESTUDIO	OBJETIVO	MEDIDA DE RENDIMIENTO	METODOLOGÍA
V.M. Jayasooriya, A.W.M Ng, S. Muthukumara, B.J.C. Perera, (2017) [78]	Medioambientales /ecológicos	Eliminación anual (kg/año) de: NO ₂ , SO ₂ , PM ₁₀ , CO, PM _{2,5} y O ₃	i-Tree Eco
P. Pakzad, P. Osmond, (2016) [80]	Medioambientales /ecológicos	Eliminación de contaminantes	CNT 2010; Nowak et al. 2006
		Emissiones evitadas	
	De salud	Mejora el bienestar físico	(Schipperijn et al., 2013; Li et al., 2011; Kent, Thompson et al.2011;; Abraham et al. 2010;; Wilbur et al. 2002; Ulrich, 1984)
		Mejora del bienestar mental (reducción de la fatiga mental)	(Arnberger & Eder, 2012; Kuo & Sullivan, 2001; Kaplan & Kaplan, 1989;)
	Económicos	Valor de las emisiones de CO ₂ evitadas y secuestro de carbono	(CNT 2010; Scott et al., 1998)
		Valor de la eliminación/ evitación de contaminantes atmosféricos	(McPherson et al., 1999)
K. Zimmermann, D. Lee (2021) [81]	Medioambientales /ecológicos	Porcentaje de área con emisiones de PM	>50% del área del distrito estadístico cubierta por > 78 kg/a
		Porcentaje de área con emisiones de NO _x	>50% del área del distrito estadístico cubierta por > 700 kg/a
A. N. Muresan, A. Sebastiani, M. Gaglio, E. A. Fano, F. Manes, (2022) [82]	Medioambientales /ecológicos	Eliminación de contaminantes atmosféricos por vegetación	PM ₁₀ : Manes et al., 2016, Fusaro et al., 2017, and Nowak et al. (1994) O ₃ :Manes et al., (2012a)
P. Pakzad, P. Osmond, L. Corkery, (2017) [83]	Medioambiental/ ecológico	Mejora de la calidad del aire (Eliminación de contaminantes y emisiones evitadas)	Uso del Índice Medio Ponderado (IPP) para determinar grado de importancia de cada indicador
	De salud	Mejora el bienestar físico	
		Mejora del bienestar mental (reducción de la fatiga mental)	
	Económicos	Valor de las emisiones de CO ₂ evitadas y secuestro de carbono	
		Valor de la eliminación/ evitación de contaminantes atmosféricos	

Tabla 4. 10. Resumen Indicadores para la mejora de la calidad del aire

A pesar de haberse desarrollado numerosos modelos que evalúen el rendimiento de la IV, no existe ningún modelo específico que sea capaz de integrar su aplicación considerando distintos tipos de IV ni de servicios ecosistémicos. *P. Pakzad et al. 2017* [83], a través de una revisión bibliográfica identificó treinta indicadores de rendimiento de IV, posteriormente mediante el método del Índice Medio Ponderado (IPP) se calcula el grado de importancia de cada indicador y de obtener los indicadores para la evaluación de sostenibilidad de la IV. En este sentido, también se ha empleado la técnica de análisis del índice relativo (IIR) que permite determinar y calcular la importancia comparativa entre diferentes indicadores [84]. Además en este estudio, a partir del IIR se identificó un conjunto de elementos verdes esenciales que mejoran y refuerzan la calidad de cada indicador propuesto, considerando las prioridades de los agentes locales interesados. Con el objetivo principal de fomentar un proceso planificación participativo con una mayor adaptación a las condiciones específicas locales.

4.3.4. Infraestructura Verde y la salud de las personas

La mayoría de los estudios encontrados enfocan su estudio en analizar los efectos de mitigación de la contaminación atmosférica. Sin embargo, se considera esencial vincular la IV con la calidad del aire y la salud humana con el fin de comprender las consecuencias directas que puede suponer en los ciudadanos la implementación de IV en el entorno urbano.

Se ha demostrado que las IV suponen importantes beneficios en la salud como reducción de enfermedades cardiovasculares, los accidentes cerebrovasculares, la diabetes, la mortalidad, enfermedades circulatorias, la obesidad, enfermedades respiratorias, y puede también suponer la mejor de la longevidad de las personas mayores, el control de dolor, la recuperación posoperatoria, el desarrollo cognitivo infantil y la función inmunitaria. Además la posibilidad de acceso a espacios verdes favorece a la reducción de estrés, depresión, ansiedad y morbilidad psiquiátrica [85]. De esta manera, se puede considerar una medida sanitaria preventiva, la cuál también supone importantes beneficios económicos, debido a la reducción de demanda de tratamientos sanitarios más costosos.

Por ejemplo, *A. Tiwari et al. 2019* [64] recoge una serie de estudios realizados que relacionan la reducción de concentraciones de contaminantes en aire debido a la implementación de IV con el efecto positivo en la salud de las personas. En los cuales, se han podido evaluar los beneficios directos en la salud de las personas como la reducción de mortalidad [86]. Además de otros que comentan los posibles beneficios monetarios derivados de la mejora en las condiciones de salud de la ciudadanía [87].

De forma general, la mayoría de estudios concluyen que las IV suponen unas consecuencias sanitarias positivas. A pesar de ello, los estudios desarrollados son limitados y existen reducidas pruebas empíricas que relacionan la reducción de concentración de contaminantes dada por la IV con los resultados positivos sanitarios. Por este motivo, surge la necesidad de un análisis a mayor escala que vincule directamente los efectos de la implementación IV en los ciudadanos, a largo y corto plazo [85].

5. CASO ESTUDIO: SANTA CRUZ DE TENERIFE

5.1. SANTA CRUZ DE TENERIFE

Santa Cruz es una ciudad portuaria, situada al noreste de la isla de Tenerife, perteneciente a la Comunidad Autónoma de las Islas Canarias. Situada en el océano Atlántico, al noroeste del continente africano ($28^{\circ} 28' N$, $16^{\circ} 15' O$). Se extiende una superficie en torno a $150,56 \text{ km}^2$, se encuentra limitada naturalmente por dos de los principales espacios protegidos de la isla, el macizo de Anaga al noroeste y las montañas de la Esperanza al sureste. Además, dispone de 58 km de costa, la cual se encuentra dividida naturalmente por el Barranco de Santos.

Según la clasificación climática de Köppen, Santa Cruz de Tenerife presenta un clima seco semiárido cálido (Bsh). La temperatura se mantiene mayormente estable a lo largo del año, lo que supone una media anual de $18,5^{\circ}\text{C}$. Mientras la media de precipitación anual es de 281 mm.



Figura 5.1. Ubicación de Santa Cruz de Tenerife

La capital de provincia está conformada por cinco distritos municipales, con alrededor de 208.563 habitantes y una densidad poblacional $1.385,35 \text{ habitantes/km}^2$. En la Figura 5.2 y Tabla 5.1 se indica la ubicación y características principales de cada uno de los distritos municipales.

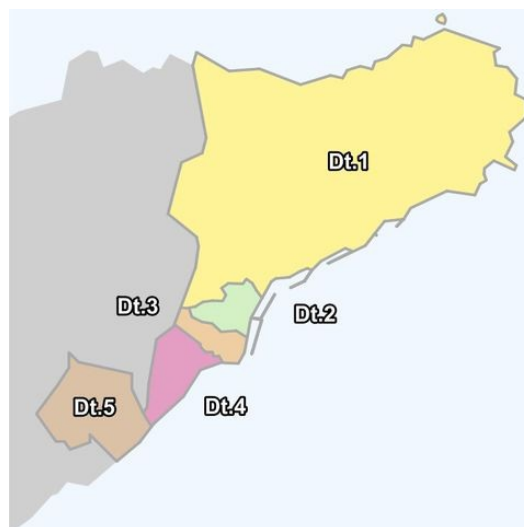


Figura 5.2. Distritos municipales de Santa Cruz de Tenerife [88].

DISTRITO	SUPERFICIE (km ²)	HABITANTES	Nº DE BARRIOS	CARACTERÍSTICAS
1. Anaga	119,32	12.033	17	- Parque Natural de Anaga -Pueblos marineros y polígonos de industrias portuarias
2. Centro - Ifara	4,41	47.410	13	- Casco histórico de la ciudad - Limitación de expansión debido a las fronteras naturales - Edificios con más de 6 plantas, plazas, ramblas, villas residenciales y parques.
3. Salud - La Salle	4,14	60.135	14	- Zona de expansión décadas atrás. Actualmente está integrado en el centro urbano.
4. Ofra-Costa Sur	7,53	38.694	23	- Se han construido nuevos barrios, lo que ha provocado el desplazamiento de la actividad industrial al extrarradio. -Mayor densidad demográfica. -Limitada por la TF-5, Polígono Costa Sur y Municipio de La Laguna.
5. Suroeste	14,58	50.910	11	- En los últimos años se ha transformado de ciudades dormitorio a barrios con infraestructura y vida propia. - Limitada por la TF-2 y la montada de Taco

Tabla 5.1. Características de los distritos municipales de Santa Cruz de Tenerife [88]. Elaboración propia.

Atendiendo a la mayor disponibilidad de datos y tratarse de las regiones con mayor cantidad de habitantes, este trabajo se ha centrado en el análisis de las zonas más céntricas del municipio, aquellas regiones que contienen el casco antiguo y sus alrededores. De tal manera que se ha estudiado únicamente los distritos municipales **Centro-Ifara y Salud-La Salle**.

Como se puede ver en la *Figura 5.3* gran parte del suelo esta ocupado por áreas urbanas residenciales (amarillo). En torno a la autopista también se encuentra un alto porcentaje de áreas industriales, donde las más cercanas a la costa corresponden a la refinería. Además, el puerto se extiende en casi la totalidad de la costa de la ciudad [89]. También se pueden distinguir escasos espacios verdes, mientras la infraestructura gris se trata de un elemento constante tanto en interior como en los alrededores de la ciudad.

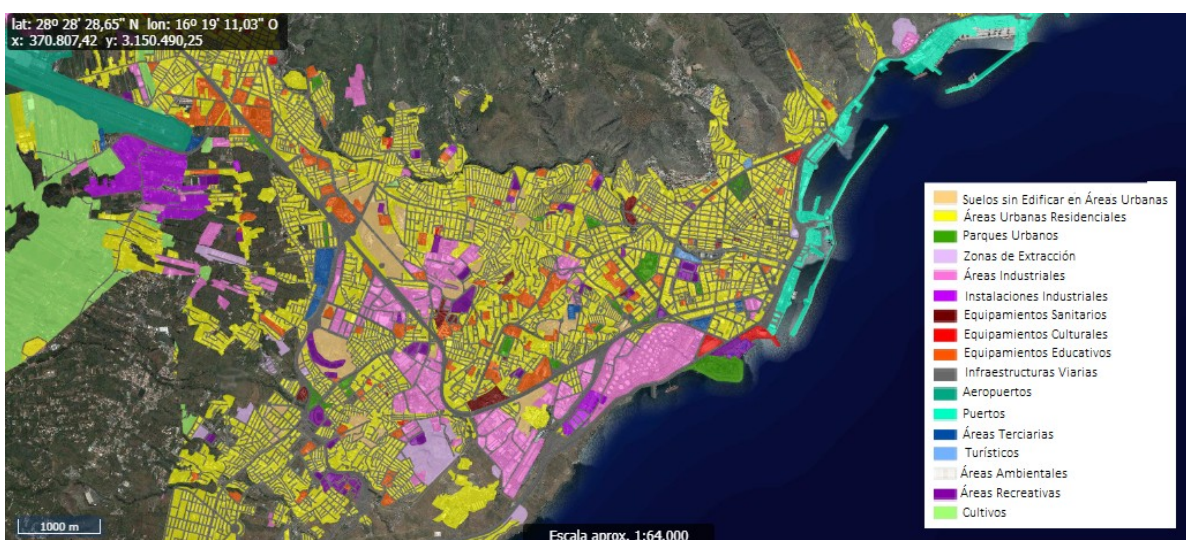


Figura 5.3. Mapa Ocupación de Suelo de Santa Cruz de Tenerife [89].

5.2. CALIDAD DEL AIRE EN SANTA CRUZ DE TENERIFE

5.2.1. Factores que Calidad del Aire en Santa Cruz de Tenerife

La combinación de **emisiones naturales** y emisiones derivadas de la **actividad humana** caracterizan la calidad del aire en Santa Cruz de Tenerife [5]. Tanto su orografía como algunos fenómenos meteorológicos como la calima, el viento, el calor y la inversión térmica afectan significativamente en las condiciones de dispersión de los contaminantes atmosféricos.

Debido a la gran proximidad del archipiélago canario al continente africano y la influencia directa del anticiclón de los Azores favorecen a una mayor cantidad de intrusiones de polvo proveniente del Sahara [90]. Durante el periodo de tiempo comprendido entre los años 2000 y 2004, se identificó que un 15,5% de los días se desarrolló este fenómeno en Santa Cruz de Tenerife [91]. La calima puede suponer un grave riesgo para la salud, ya que es considerado uno de los principales focos de contaminación de partículas en suspensión [92]. En el año 2020 se produjo uno de los eventos más severos del archipiélago, y consecuentemente, se detectaron graves condiciones de insalubridad debido a la alta concentración de contaminantes [90]. A pesar de no existir un consenso sobre el posible incremento futuro de episodios de calima [90], es fundamental considerar dicho fenómeno en el desarrollo de estrategias para la mejora de la CA, con el fin de cuidar, en todo lo posible, la salud y bienestar de la ciudadanía. Se ha demostrado que las intrusiones de polvo tienen un patrón estacional con una tendencia bimodal [91]. Se producen con una mayor intensidad a lo largo de dos periodos de tiempo: de enero a marzo y de noviembre a diciembre, siendo el primero el que genera un mayor aumento de partículas en el aire.

Además, se ha demostrado una relación directa entre las concentraciones de polvo y el viento, donde un cambio en la dirección del viento dominante puede favorecer a la formación de eventos de calima extrema. De esta forma, las altas concentraciones de polvo se desarrollan de manera simultánea cuando se dan bajas velocidades del viento, ya que dispone de una menor capacidad de arrastre [90].

La ciudad se encuentra afectada, tanto por vientos predominantes (Vientos Alisios) y vientos locales (Brisas marino-terrestre), que influyen significativamente en el transporte de contaminantes [5]. Por un lado, a una escala sinóptica, la interacción entre los Alisios y la orografía de la isla, provocan efectos geográficos en las capas bajas de la atmósfera [5]. Asimismo, las brisas locales, caracterizadas por seguir patrones diarios, generan un efecto de retroalimentación positiva que incrementa la contaminación atmosférica urbana [6].

Por otro lado, debido a las corrientes oceánicas frías se humedecen y enfrían las masas de aire superficiales, generando el efecto de inversión térmica en torno a los 900-1220 m [5]. Las temperaturas ascienden en vez de descender con la altura, provocando una reducción de la circulación del aire y consecuentemente, una menor dispersión de los contaminantes sobre la capa superficial.

En cuanto a las emisiones derivadas de la **actividad antropogénica**, se identifican como principales fuentes de contaminación el tráfico rodado, el tráfico marítimo y la actividad industrial.

La ciudad de Santa Cruz dispone de conexión directa con dos de las principales carreteras de la isla, la TF-1 (Autopista Sur) y la TF-5 (Autopista Norte). Además, en gran parte del interior de la ciudad existe una amplia red viaria que permite un fácil acceso de vehículos. El **tráfico rodado** supone la principal fuente de contaminación de NO_x y PM, pudiendo alcanzar el 57 y el 61% de las emisiones totales respectivamente. Asimismo, se identificaron las mayores concentraciones de NO en las horas punta de tráfico durante los días laborales [5].

Santa Cruz dispone de un extenso puerto que presenta una gran variedad de funciones, desde transporte de mercancías, actividades pesqueras e industriales, transporte de pasajeros e incluso como puerto deportivo. El **tráfico marítimo**, dado por la entrada y salida de buques y cruceros, suponen una fuerte afección en los niveles de contaminación de la ciudad. Se trata del principal responsable de emisiones de SO_x y NO_x, sobre

todo debido a la circulación de cruceros [5]. Según el informe elaborado por la ONG Transport and Environment (2017), Santa Cruz de Tenerife se sitúa como el séptimo puerto europeo con mayores emisiones de SO_x y NO_x. Además destaca que las emisiones de los barcos pueden generar concentraciones mucho más altas que las emisiones de los vehículos.

Se identificó que el caso de estudio, comparada con otras ciudades canarias similares, presenta un patrón de contaminación urbana-industrial, dado principalmente por la intensa actividad de la Refinería años atrás. Se trata de una instalación de petróleo ubicada en la entrada de la ciudad desde 1930 y durante muchos años representaba el sustento de abastecimiento energético de Canarias. Numerosos estudios sobre la calidad del aire en Santa Cruz de Tenerife se centran en evaluar el efecto la Refinería, donde se determinó como la principal fuente de contaminación de SO₂ [5], y consecuentemente, generó graves afecciones en la salud de las personas debido a su funcionamiento. Actualmente, se encuentra fuera de servicio, y se está desarrollando el proyecto de regeneración urbana *Santa Cruz Verde 2030*, que supone el próximo desmantelamiento de la misma.

En la siguiente *Tabla 5.3* se recogen algunos de los principales estudios desarrollados sobre la calidad del aire en Santa Cruz de Tenerife, en relación a la contaminación atmosférica.

D. Cañadillas-Ramallo et al. (2022) [90]	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de datos sobre evento de calima de partícula PM₁₀ (2007-2020) - Altas concentraciones de PM vinculadas con efectos de calima. - Influencia de la velocidad y dirección del viento en la calima.
E. López Villarrubia et al. (2008) [91]	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de PM, SO₂, O₃, NO₂, CO (2000-2004) - Existencia de patrón entre CA y calima. - Excepto el NO₂, el resto de contaminantes aumentó su nivel. - Actividad industrial gran influencia en la contaminación.
S. Cabrera Encinoso (2021) [92]	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de PM_{2,5} en Santa Cruz de Tenerife - Se dispone de datos de mala calidad - Relación de incremento de PM_{2,5} con la calima.
J. M. Baldasano, J. Massagué (2017) [5]	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de SO₂, NO₂, NO_x, PM, O₃ (2011-2015) - Revisión bibliográfica de estudios que evalúan la calidad del aire en Santa Cruz de Tenerife
Y. González, S. Rodríguez (2013) [6]	<ul style="list-style-type: none"> - Altas concentraciones de SO₂ registradas diariamente (10-17h) asociadas a la brisa marina interior y entrada de barcos a la ciudad.
J. M. Baldasano et al. (2014) [7]	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de SO₂ y PM (1998-2011) - La refinería gran afección en los niveles de SO₂ - Episodios de PM causados por la calima
E. Cuevas et al. (2012) [93]	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterización del O₃ en la superficie (1988-2009) - Valores más altos de O₃ están asociados a las masas de aire que viajan por encima de los 4 km de altitud desde América del Norte y el Océano Atlántico. Mientras que el O₃ bajo se transporta desde la capa límite continental del Sahara
Reche et al. (2011) [94]	<ul style="list-style-type: none"> - Valores diarios más altos de O₃ en primavera y en la primera mitad del verano. - Patrones diarios de O₃ muestran niveles nocturnos similares a los registrados a mediodía, debido al aporte continuo de masas oceánicas frescas y a los bajos niveles locales de NO

J. C. Guerra et al. (2004) [95]	- Los niveles de O ₃ están afectados tanto por el transporte a larga distancia de dichos contaminantes desde latitudes septentrionales y por las emisiones locales de contaminantes primarios que afectan a zonas urbanas y a sotavento de las principales fuentes de emisión - A sotavento de las zonas urbanas, se registra con frecuencia un exceso de O ₃ debido a la formación fotoquímica en el aire envejecido.
F. de Pablo et al. (2018) [96]	- Evaluación diaria, semanal y anual de NO, NO ₂ , SO ₂ y P ₁₀ (2007-2009)
A. Domínguez-Rodríguez et al. (2011) [97]	- Incremento de hospitalizaciones por insuficiencia cardiaca debido a altas exposición de PM.
C. Milford et al. (2008) [98]	- Desarrollo de un sistema de previsión de la contaminación atmosférica que predice la probabilidad de que la concentración de SO ₂ supere los valores límites de la OMS.
J. M. Baldasano (2010) [99]	- Desarrollo de sistema de previsión de contaminantes atmosféricos a 48 h con una resolución espacial de 2 km.
A. Ares et al. (2011) [100]	- Estudio de la calidad del aire en zonas industriales de Santa Cruz de Tenerife (España) mediante biomonitorización activa con <i>Pseudoscleropodium purum</i>

Tabla 5.3. Resumen de estudios que evalúan la calidad del aire en Santa Cruz de Tenerife. Elaboración propia.

5.2.1. Medidores de la Calidad del Aire

5.2.1.2. Ubicación y características

En la isla existe una Red de estaciones de medición de la Calidad del Aire ambiente. Actualmente en Tenerife, al igual que en toda Canarias, operan 4 redes de inmisión, dos privadas que pertenecen a la compañía Cepsa y Endesa, y otras dos públicas dirigidas por la Consejería de Sanidad y la Consejería de Medio Ambiente [101]. Las diferentes estaciones se colorean en función del Índice de Calidad del Aire (ICA) más desfavorable en cada momento, a cada hora se actualizan la información [102]. La mayoría, como se indica en la *Figura 5.4* se ubica en la región oriental de la isla.

En cuanto a Santa Cruz, dispone de 15 estaciones de control que se concentran principalmente en un área de 2,5 km², donde se encuentra la zona urbana, sobre todo aquella más cercana a la refinería y el puerto de Santa Cruz de Tenerife. La ubicación geográfica elegida inicialmente para las estaciones tiene como finalidad medir los niveles de contaminación procedentes de la actividad industrial. En la *Tabla 5.4* se muestran los datos disponibles de cada una de estas estaciones y las características de la ubicación.



Figura 5.4. Ubicación de Estaciones de medición de CA en S/C de Tenerife [102]. Enumeración vinculada con la Tabla 5.4.

MEDIDOR	DATOS (Unidad)	CARACTERÍSTICAS
1. Vuelta Los Pájaros	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , O ₃ , benceno, tolueno, xileno (µg/m ³), CO (mg/m ³)	- Carretera y paso tranvía - 156,02 m s.n.m.
2. Depósito Tristan	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , O ₃ , benceno, tolueno, xileno, TRS (µg/m ³); CO (mg/m ³)	- Próxima a la TF-28 - 196 m s.n. m.
3. Tena Artigas	SO ₂ , NO, NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , O ₃ , benceno, tolueno, xileno (µg/m ³), CO (mg/m ³)	- 171 m s.n.m.
4. Casa Cuna	SO ₂ ; NO ₂ ; PM ₁₀ ; PM _{2,5} ; O ₃ ; benceno, tolueno, xileno; TRS; CO (mg/m ³)	- Próxima a TF-5 (Autopista del Norte) - Cepsa - 168 m s. n. m.
5. Parque La Granja	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , O ₃ , benceno, tolueno, xileno, TRS (µg/m ³), CO (mg/m ³)	- Parque urbano de 64.310 m ² - 78 m s. n. m.
6. Tio Pino-S/C	SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , O ₃ (µg/m ³)	- Vía primaria - 104 m s.n.m.
7. García Escámez	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , O ₃ , benceno, tolueno, xileno, TRS (µg/m ³), CO (mg/m ³)	- Barrio al Norte TF-5 y refinería - 120 m s.n.m.
8. Tome Cano	SO ₂ , NO, NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , O ₃ , benceno, tolueno, xileno (µg/m ³), CO (mg/m ³)	- Vías primarias - Sanidad - 67 m s. n. m.
9. Piscina Municipal	SO ₂ ; NO; NO ₂ ; PM ₁₀ ; PM _{2,5} ; O ₃ ; benceno, tolueno, xileno; CO (mg/m ³)	- Próximas TF-5 y refinería - 68 m.s.n.m.
10. Hacienda	SO ₂ , NO, NO ₂ (µg/m ³) Solo periodo del 2018-2020	- 4 m s.n.m. - Avenida marítima - Cercana al puerto
11. Palmetum	SO ₂ , NO, NO ₂ , benceno, tolueno, xileno, TRS SH ₂ (µg/m ³), CO (mg/m ³) Solo periodo de 2015-2019	- Jardín Botánico (12.000 m ²) - Próxima a la TF-4 - 38 m s.n.m.
12. Refinería 13. Refinería Torre 14. Puerta Principal 15. Puerta Litoral	TRS (µg/m ³) Solo año 2015	- En desuso - Entrada ciudad - Próxima TF-1

Tabla 5.4. Características de los medidores de Calidad del Aire en Santa Cruz de Tenerife

5.2.1.2. Evaluación de datos

En la mayoría de las estaciones se dispone de datos, comprendidos en el periodo de tiempo de 2004 hasta 2020, de la mayoría de todos los contaminantes atmosféricos clásicos. Sin embargo, en el caso de los tres medidores que pertenecen a la refinería únicamente están disponibles los valores de TRS del año 2015. Por este motivo, dichas estaciones quedan fuera de estudio. Por otro lado, debido a que gran parte de las estaciones se encuentran muy próximas, se han seleccionado las estaciones, con características diferentes (ubicación, tipo de foco emisores de contaminantes, densidad de vegetación, etc.), y que se pueden considerar suficiente para describir las condiciones de calidad de aire en Santa Cruz de Tenerife. De esta manera, lograr una simplificación de los datos y mayor comprensión de los mismos. En este estudio, se han evaluado los datos disponibles entre los años 2015 y 2020 de los contaminantes atmosféricos clásicos de las

siguientes estaciones: Vuelta Los Pájaros, Casa Cuna, Parque La Granja, García Escámez, Piscina Municipal, Hacienda y el Palmetum.



Figura 5.5. Ubicación de Estaciones seleccionadas para la evaluación de datos de CA (rodeadas). Elaboración propia.

● **Dióxido de Azufre (SO₂)**

Como se muestra en la *Tabla 5.5* la mayoría de estaciones analizadas presentan una buena calidad de datos (a excepción de la Vuelta de Pájaros entre el año 2015 y 2018, y la Piscina Municipal en el 2019). Se ha podido determinar, que de forma general, no se superan los niveles de concentración que suponen un riesgo para la salud. Además, se presenta cierta estabilidad de los valores anuales (*Figura 5.6*).

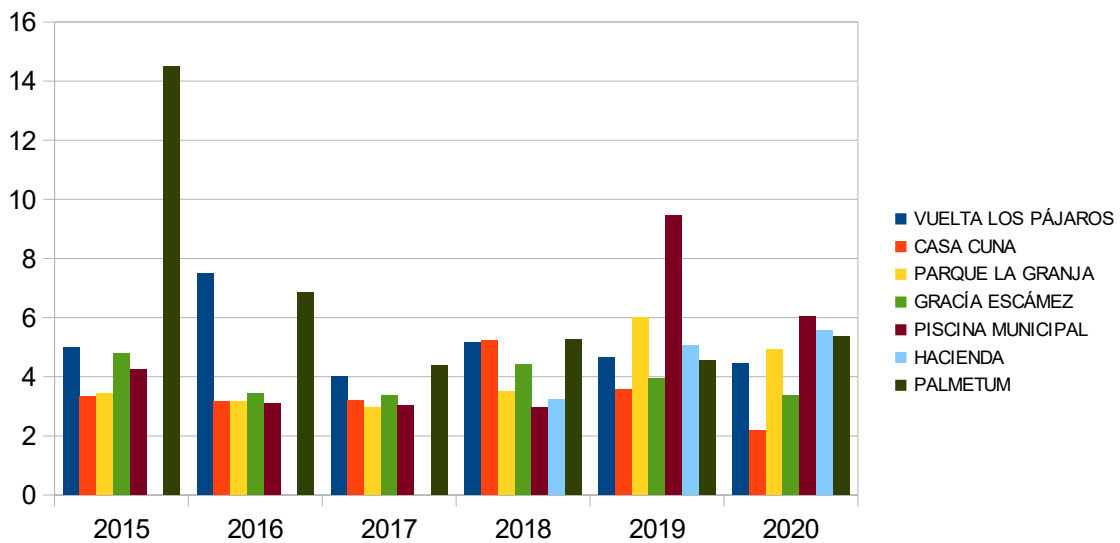


Figura 5.6. Evolución de niveles medios anuales de concentración de SO₂ entre 2015 y 2020 (µg/m³). Elaboración propia

Sin embargo, las estaciones más cercanas al puerto (principal fuente emisora de SO₂), Palmetum y Hacienda, presentan una menor disponibilidad de datos válidos. En el caso de Hacienda es más significativo, donde dos de los tres años que se disponen datos (2019 y 2020), se encuentra lejos del porcentaje mínimo del 90% de datos válidos. En el caso de la estación Palmetum, cabe destacar el año 2015, que a pesar de tener un elevado porcentaje de datos no válidos, se supera significativamente (casi 5 veces mayor) el límite establecido por la OMS (equivalencia de 3 días al año). Por otro lado, en el año 2018, ambas estaciones disponen de datos con

buena calidad y con valores adecuados de concentraciones de SO₂. La mayor concentración máxima dada en Hacienda, comparada con la medida en el Palmetum, puede explicarse a una mayor proximidad a una fuente emisora específica, en este caso al área portuaria con una actividad más intensa.

Evaluando las Directrices establecidas por la OMS, la zona del Palmetum presenta los resultados más perjudiciales para la salud. En este área se combinan las emisiones producidas por el puerto y los vehículos circulantes, principalmente de la autopista TF-1. De esta manera, se demuestra que las características del jardín botánico que compone el Palmetum, no son las óptimas y suficientes para la dispersión o eliminación de SO₂. La falta de datos válidos en la estación de Hacienda, dificulta conocer los verdaderos niveles de concentración de SO₂ y la capacidad de dispersión de los contaminantes.

Tras analizar los niveles de SO₂, se demuestra que el transporte marítimo se trata de la mayor fuente emisora en comparación con otras fuentes como el transporte rodado. También es de gran importancia lograr una mejor calidad de datos, sobre todo de aquellas más cercanas al área portuaria, para poder conocer de forma más realista las consecuencias sanitarias que supone la actividad del puerto para los ciudadanos de Santa Cruz de Tenerife.

	2015					2016					2017					2018					2019					2020															
	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM						
1	81	97	97	90	97	63	97	92	97	94	97	94	94	76	95	94	94	95	96	91	85	96	99	98,6	96	93,6	97	95	96,5	97	97	88	55	23	95,8	92	93	93	94	33	65
2	72	60	105	245	64	93	55	63	51	81	46	107	114	95	108	97	110	135	162	92	162	117	83	144	45	80	133	50	87	97	54	26	161	36	91	142	51	12	204		
3	0	0	0	2	0	14	0	0	0	1	0	8	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	4	

1	CALIDAD DE DATOS (% datos válidos)
	< 90% datos válidos → MALA CALIDAD
2	CONCENTRACIÓN MÁX (Media horaria, µg/m ³)
3	N.º DE DÍAS QUE SUPERA LÍMITE DE LA OMS
	>3 día al año
	NO HAY DATOS DISPONIBLES

Tabla 5.5. Resultados de evaluación de datos del contaminante SO₂. Elaboración propia.

● Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Como se muestra en la *Tabla 5.6.*, durante el periodo de estudio se dispone de datos con una buena calidad (supera 90% de datos válidos medidos). Existen algunas excepciones como la ubicada en Hacienda, la cual no empieza a realizar mediciones hasta 2018. Además de presentar una cantidad insuficiente de mediciones válidas en los años 2019 y 2020. Por otro lado, se produjeron algunos escenarios aislados de mala calidad de datos como las estaciones Casa Cuna (2016) y Vuelta de Pájaros (2018). El año 2019 es el año con mayor número de estaciones que no presentan una buena calidad de datos, casi la mitad de las estaciones evaluadas (Piscina Municipal, Hacienda y Palmetum). En el caso de la estación situada en el Palmetum, no se han realizado mediciones de NO₂ durante el año 2020.

A lo largo de todo el periodo de estudio, las estaciones elegidas superan las directrices, tanto de exposición a largo plazo como a corto plazo establecidas por la OMS. Únicamente, en el año 2018 la estación del Palmetum presenta un valor inferior para una exposición a largo plazo, cumpliendo por poco el límite propuesto, ya que se registró un valor medio anual de 9,7µg/m³ siendo el límite 10 µg/m³ (*Figura 5.7*).

Tras la evaluación de niveles de NO₂ que suponen un riesgo para la salud (corta y larga exposición), se ha podido determinar que las estaciones con peores resultados son las ubicadas en Casa Cuna, en la Piscina Municipal y en Hacienda. Todas ellas presentan como característica común su gran proximidad a una vía de tráfico. Tanto en el caso de Casa Cuna como de las Piscinas Municipales se encuentran cercanas a una de las vías más transitadas, la autopista Norte (TF-5). La estación de Hacienda, está situada en la Avenida de Anaga, la cual se extiende por todo el extremo marítimo de la ciudad de Santa Cruz de Tenerife. Mayoritariamente, el NO₂ se origina tras la oxidación en la atmósfera del NO producida en la combustión de los motores de los

vehículos, principalmente los diésel. De esta manera, el gran tránsito de vehículos que se desarrolla en la ciudad, sobre todo en aquellas áreas más próximas, genera importantes riesgos para la salud. Por otro lado, también se debe tener en cuenta el tráfico marítimo como importante responsable de los altos niveles de NO₂.

Además, incluso las estaciones próximas a una mayor densidad de vegetación, como el caso del Parque de La Granja o el Palmetum, presentan valores insuficientes para cumplir las directrices establecidas. Por lo que se puede concluir que existe un diseño inadecuado que no logra atenuar o eliminar las elevadas concentraciones de NO₂.

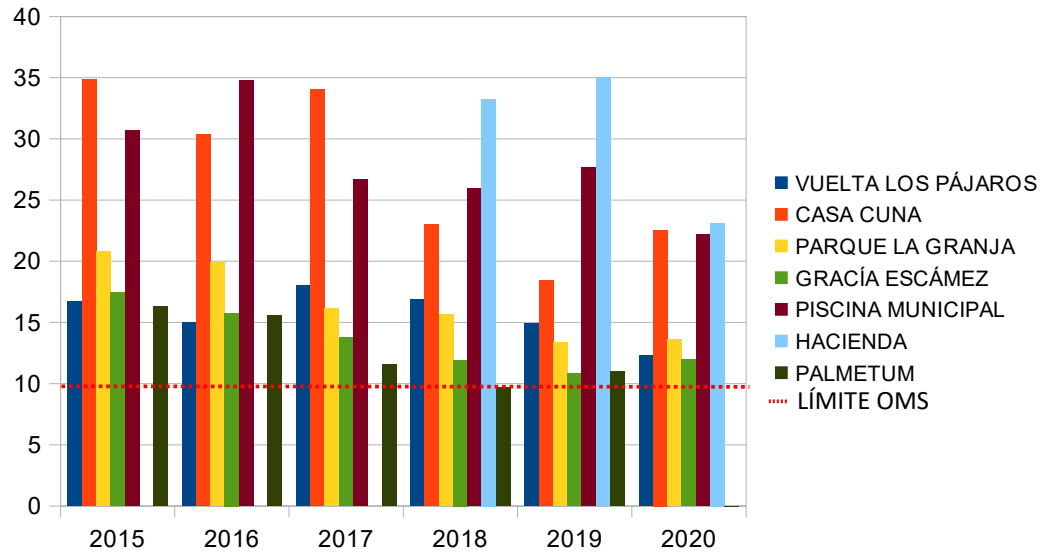


Figura 5.7. Evolución de niveles medios anuales de concentración de NO₂ entre 2015 y 2020 (µg/m³). Límite de concentración máxima a largo plazo establecido por la OMS (línea roja). Elaboración propia.

	2015						2016						2017						2018						2019						2020							
	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM			
1	94.1	97.4	95.9	97.4	98.6	65.3	96.8	85.4	95.5	97	97.7	94.1	95.2	93.6	93.4	91.6	96.4	91.0	87.1	98.3	97.4	97.8	97.0	94.2	97.6	94.9	94.2	96.4	97.5	86.6	60.3	22.8	95.7	90.2	92.6	94.1	98.2	35.2
2	200	214	159	162	232	171	105	134	176	113	207	113	136	343	198	133	144	133	153	109	137	107	122	104	86	169	168	209	129	145	129	84	116	114	183	86	125	86
3	75	144	108	93	191	55	72	108	109	89	160	73	94	141	88	81	130	72	66	78	74	64	116	168	52	62	65	62	61	104	103	26	56	94	62	70	109	36
4	16.7	34.8	20.8	17.5	30.7	15.3	15.0	30.4	19.9	15.8	34.8	15.6	18.0	34.0	16.2	13.7	26.7	11.6	16.9	23.0	15.7	11.9	25.9	33.3	9.7	14.9	18.4	13.4	10.9	27.7	35.0	11.0	12.3	22.6	13.6	12.0	22.2	23.1

1	CALIDAD DE DATOS (% datos válidos)
	< 90% datos válidos → MALA CALIDAD
2	CONCENTRACIÓN MÁX (Media horaria)
SUPERACION LÍMITES DE LA OMS	
Corto plazo (24 h) de 25 µg/m ³	
3	>3 día al año
4	Largo plazo: nivel medio anual de 10 µg/m ³
	NO HAY DATOS DISPONIBLES

Tabla 5.6. Resultados de evaluación de datos del contaminante NO₂. Elaboración propia.

● Material particulado PM₁₀

Como se muestra en la Figura 5.8 y la Tabla 5.7 a lo largo del periodo de estudio, la mayoría de estaciones superan el límite de concentración media anual de 15 µg/m³ (directriz de exposición a largo plazo). Sobre todo en el año 2020, coincidiendo con uno de los mayores eventos extremos de calima del archipiélago canario. De esta manera, se reafirma que la calima supone un factor influyente en el nivel de materia particulada contenida en el aire, y consecuentemente una mala calidad del aire.

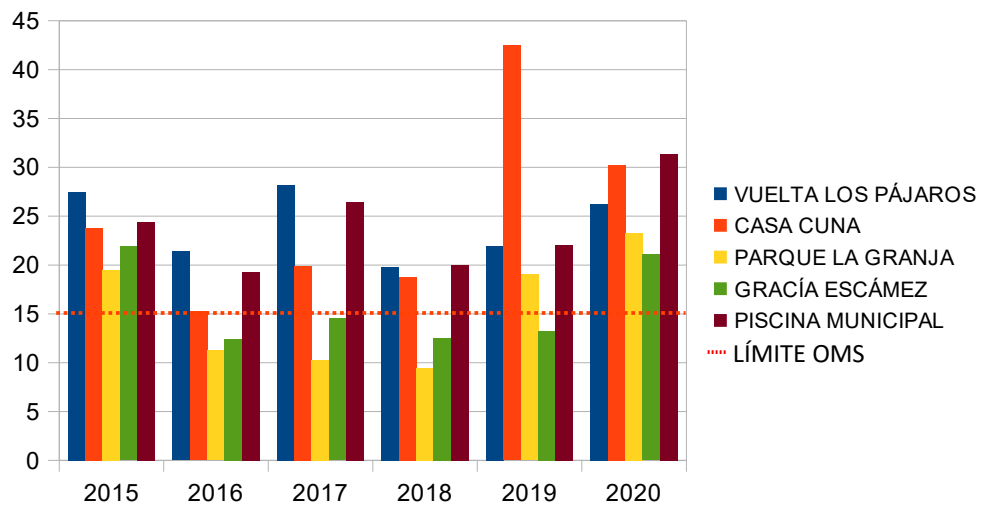


Figura 5.8. Evolución de niveles medios anuales de concentración de PM₁₀ entre 2015 y 2020 (µg/m³). Elaboración propia

De forma general, también se superan significativamente los límites de exposición a corto plazo. Por ejemplo, la estación de Casa Cuna, en el año 2019, registró un total de 92 días de superación del valor límite, cuando el máximo establecido equivale a 3-4 días.

Por otro lado, no existe ninguna tendencia de mala calidad de datos. Durante el 2016 la mayoría de las estaciones dispusieron de una mala calidad de datos, mientras, en el 2020 todas las estaciones presentaron una buena calidad. Atendiendo a los años con una mayor cantidad de datos válidos (2019 y 2020), las estaciones Casa Cuna y Parque La Granja presentan los peores resultados. Esta diferencia de concentraciones puede darse por las características determinadas del entorno que no favorezcan la dispersión de este tipo de contaminantes. También cabe destacar la ausencia de mediciones de PM₁₀ en las estaciones más cercanas al mar, como son Hacienda y Palmetum. La medición de PM₁₀ podría ser interesante para evaluar la influencia de la materia particulada marina en la calidad del aire. Además, de analizar si la línea de costa de la ciudad presenta las características adecuadas para favorecer la dispersión de estos contaminantes tanto en el sentido mar-ciudad como ciudad-mar.

	2015						2016						2017						2018						2019						2020											
	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCIA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCIA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCIA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCIA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GARCIA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM							
1	98,1	66,4	56,5	89,04	97,02			95,5	72,4	76,8	73,03	97,3			87,85	93,8	97,1	96,23	95,76			88,58	71,38	96,66	49,32	96,75			93,25	95,88	92,33	98,47	87,10			92,98	95,31	91,82	91,91	95,74		
2	471	337	336	464	544			471	541	150	426	933			471	334	223	366	450			471	375	543	311	394			386	544,5	258,5	240,9	328			471	539	542	491	3757		
3	37	24	17	29	35			20	8	4	7	16			46	28	10	22	50			19	20	7	13	22			19	92	25	15	20			37	53	49	29	41		
4	27,5	23,8	19,5	21,89	24,37			21,4	15,3	11,2	12,42	19,3			28,22	19,9	10,3	14,51	28,44			19,79	18,75	9,42	12,50	19,98			21,97	42,46	19,02	13,24	22,03			26,26	30,25	23,24	21,08	31,33		

1	CALIDAD DE DATOS (% datos válidos)
	< 90% datos válidos → MALA CALIDAD
2	CONCENTRACIÓN MÁX (Media horaria)
SUPERACIÓN LÍMITES DE LA OMS	
3	Corto plazo (24 h) de 45 µg/m ³
	>3 día al año
4	Largo plazo: nivel medio anual de 15 µg/m ³
	NO HAY DATOS DISPONIBLES

Tabla 5.7. Resultado de evaluación de datos del contaminante PM₁₀. Elaboración propia.

● Material particulado PM_{2,5}

De forma similar a las PM₁₀, los valores límite tanto a larga como a corta exposición fueron superados por casi todas las estaciones a lo largo del periodo de estudio. Como se muestra en la *Figura 5.9* el valor medio anual de 5 µg/m³ es rebasado significativamente en algunos casos, como la estación Casa Cuna en el 2019, donde casi se triplica las recomendaciones sanitarias.

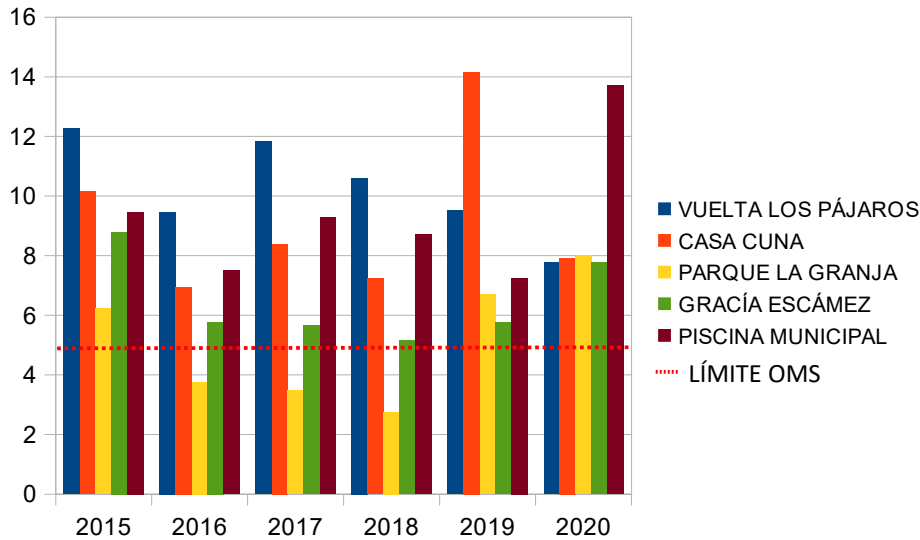


Figura 5.9. Evolución de niveles medios anuales de concentración de PM_{2,5} entre 2015 y 2020 (µg/m³). Elaboración propia.

De forma general, los mejores resultados se dieron en el Parque La Granja, en la que se logró cumplir las directrices sanitarias entre el año 2016 y 2018. Se identifica el año 2020 como el peor respecto a los contaminantes PM_{2,5}, ya que se registraron las mayores concentraciones en el aire, y todas las estaciones estudiadas superaron los límites sanitarios.

A pesar de haberse producido una evolución positiva respecto a la calidad de datos, al igual que las PM₁₀, es fundamental una mayor información para determinar qué regiones de la ciudad pueden presentar un mayor riesgo, y poder realizar medidas de mejora de la calidad del aire más eficaces.

	2015						2016						2017						2018						2019						2020					
	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GRACÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GRACÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GRACÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GRACÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GRACÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA PALMETUM						
1	98.2	66.4	56.5	89.0	97.2		96.3	72.5	76.6	73.1	97.4		91.5	93.8	97.1	96.2	94.2		86.9	71.4	96.7	49.3	92.3		93.8	95.5	92.3	98.5	86.9		93.8	95.3	89.8	91.6	94.5	
2	208	113	127	125	170		208	170	89	178	194		208	97	101	90	267		208	66	146	73	145		111.3	178.2	131.4	68.4	81		196	167	171	178	1035	
3	96	42	10	49	66		69	12	3	12	40		90	40	8	28	52		52	27	6	14	52		59	114	18	28	36		49	39	43	44	107	
4	12.3	10.2	6.2	8.8	9.5		9.5	6.9	3.8	5.8	7.5		11.8	8.4	3.5	5.7	9.3		10.6	7.2	2.8	5.2	6.7		9.5	14.2	6.7	5.8	7.2		7.8	7.9	6.0	7.8	13.7	

1	CALIDAD DE DATOS (% datos válidos)
	< 90% datos válidos → MALA CALIDAD
2	CONCENTRACIÓN MÁX (Media horaria)
SUPERACIÓN LÍMITES DE LA OMS	
Corto plazo (24 h) de 15 µg/m ³	
>34 día al año	
Largo plazo: nivel medio anual de 5 µg/m ³	
4	NO HAY DATOS DISPONIBLES

Tabla 5.8. Resultados de evaluación de datos del contaminante PM_{2,5}. Elaboración propia.

● Ozono (O₃)

Atendiendo al porcentaje mínimo de 75% de mediciones válidas anuales, se puede comprobar (Tabla 5.9) que la mayoría de los casos estudiados presentan una calidad de datos adecuada. Únicamente en el año 2016, las estaciones con ubicación en las Piscinas Municipales y el Palmetum no alcanzan dicho valor. Además, cabe destacar que en el caso de el Palmetum, solamente se dispone de mediciones del año 2016.

Evaluando las directrices establecidas por la OMS, se puede determinar que de forma general los valores se mantienen significativamente estables en la mayoría de las estaciones. De las cuales, las estaciones de Vueltas de Pájaro y Parque la Granja son las que más veces superan el límite para una exposición a largo plazo (60 µg/m), cuatro y tres, respectivamente.

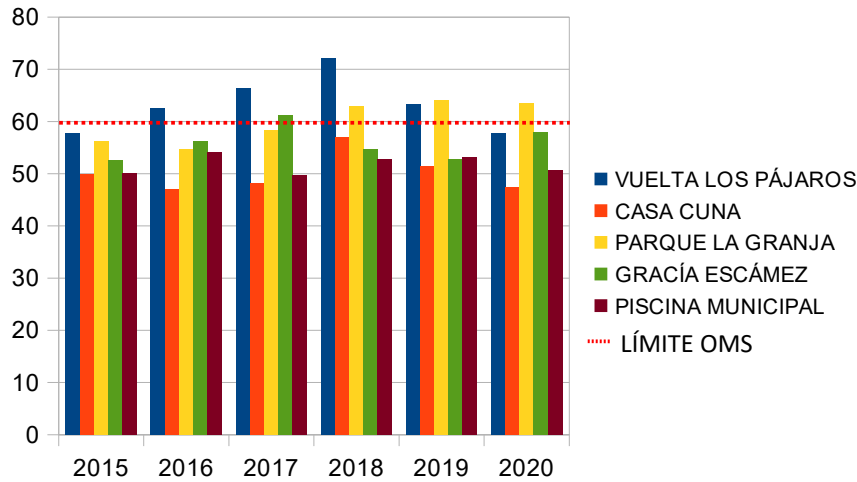


Figura 5.10. Evolución de niveles medios anuales de concentración de O₃ entre 2015 y 2020 (µg/m³). Elaboración propia.

Respecto a un periodo corto de exposición de O₃, la OMS establece un umbral de protección para la salud de 100 de media 8 horas consecutivas. Sin embargo, existe un umbral de aviso a la población más reducido, el cual equivale a 180 en una hora. En la Tabla 5.9 se muestra el número de veces que cada estación sobrepasa dicho valor de aviso en el periodo de estudio. Se ha podido determinar, que no se desarrolla ningún patrón concreto, ya que los valores máximos varían de una estación a otra a lo largo del periodo de estudio. La estación Vuelta de Pájaros y García Escámez registran en dos años del periodo analizado la mayor cantidad de número de avisos para la salud de las personas. En concreto Vuelta de Pájaros, alcanzó el valor máximo de 1576 veces en 2016. Por otro lado, analizando en conjunto de todas las estaciones en los años 2018 y 2020 se registraron la mayor cantidad de avisos.

	2015					2016					2017					2018					2019					2020														
	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GRACÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GRACÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GRACÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUNA	PARQUE LA GRANJA	GRACÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMETUM												
1	97,6	97,1	97,6	96,8	98,5			96,6	90,6	96,4	92,9	48,5	61,4	94,6	96,0	93,8	94,7	88,3				88,2	99,0	98,8	98,4	97,0			93,0	96,9	96,0	97,4	88,5			95,4	90,3	92,4	91,3	94,2
2	139	132	117	113	112,0			129	110	126	136	113	114	124	123	170	177	123				146	172	121	161	126			131	137	114	175	113			178	176	150	126	106
3	209	61	235	20	51			311	12	111	414	45	93	225	20	184	297	17				1576	154	252	69	98			363	7	264	99	120			299	52	523	148	6
4	57,8	49,9	56,2	52,5	50,0			62,4	47,0	54,8	56,3	54,2			56,5	48,3	58,3	51,2	49,6			72,0	57,0	62,9	54,7	52,7			63,3	51,4	54,0	52,7	53,2			57,7	47,5	63,5	57,9	50,7

1	CALIDAD DE DATOS (% datos válidos)
	< 75% datos válidos → MALA CALIDAD
2	CONCENTRACIÓN MÁX (Media horaria)
SUPERACIÓN LÍMITES DE LA OMS	
3	Corto plazo (1h): 100 µg/m ³
	n.º de veces que supera el límite horario al año
4	Largo plazo: 60 µg/m ³ (la media de las concentraciones máximas Diarias en 8 horas)
	NO HAY DATOS DISPONIBLES

Tabla 5.9. Resultados de evaluación de datos del contaminante O₃. Elaboración propia.

Como ya se ha comentado las concentraciones de O₃ en la troposfera presentan una relación directa con las concentraciones de sus principales precursores (óxidos de nitrógeno, los compuestos volátiles (COV) y monóxido de carbono) y las condiciones atmosféricas (Tª favorable 20-25 °C). Evaluando los resultados de concentraciones anuales media de O₃ y NO₂, se muestra una tendencia inversa entre ellos. Las estaciones como Vueltas de Pájaro y Parque La Granja que presentan unos niveles de O₃ superiores, registran unas concentraciones de NO₂ más reducidas. Mientras las estaciones de Casa Cuna y Piscina Municipal, que presentan un paso de tráfico rodado más denso, muestran una tendencia inversa. De esta manera, se comprueba cómo los entornos con mayores niveles de contaminación NO (próximas a fuentes emisoras derivadas del transporte rodado), el O₃ se consume a gran velocidad mediante la oxidación de NO y NO₂. También cabe destacar que no se dispone de datos en las estaciones más cercanas del puerto como Hacienda y Palmetum, lo cuál podría ser interesante para evaluar la afección que supone la actividad portuaria en las concentraciones de O₃.

● Monóxido de carbono (CO)

Como se muestra en la *Figura 5.11*, las estaciones Vuelta de los Pájaros, Casa Cuna y García Escámez presentan una disminución de la concentración media anual a lo largo del periodo de estudio. Sin embargo, la situada en la Piscina Municipal registra un crecimiento notable del nivel medio anual de CO en los últimos tres años, sobre todo en el 2019. Algunos datos se mantienen más constantes, como en el caso de la Casa Cuna, mientras otros como el Palmetum son significativamente más inestables.

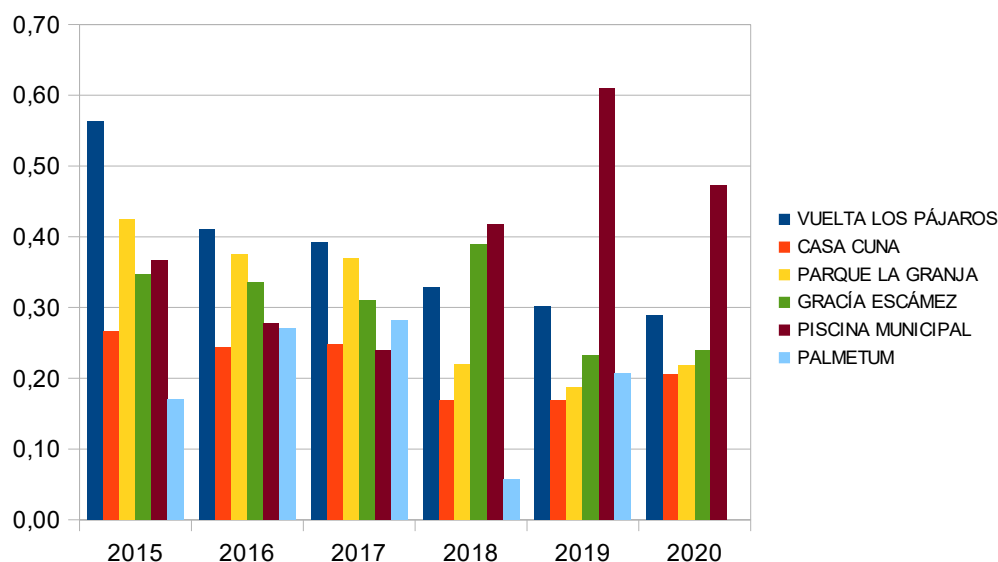


Figura 5.11 . Evolución de niveles medios anuales de concentración de CO entre 2015 y 2020 (mg/m³). Elaboración propia

Ninguna de las estaciones estudiadas presenta una mayor tendencia de disposición de mala calidad de datos. De forma general, cumplen el porcentaje mínimo de datos válidos registrados, a excepción de la Vuelta de los Pájaros que no lo alcanza durante los años 2015, 2016 y 2018.

Las concentraciones máximas medidas (media horaria) es significativamente cambiante en algunos casos como las estaciones Vuelta de los Pájaros, Casa Cuna y García Escámez. Por otro lado, la estación de Hacienda no registra los niveles de CO, lo que podría ser interesante para evaluar la posible influencia conjunta del tráfico rodado y actividad portuaria en los niveles de este contaminante en la ciudad.

Finalmente, también se ha podido comprobar que, mayoritariamente, no se superan los límites de exposición a corto plazo establecidos por la OMS.

	2015						2016						2017						2018						2019						2020					
	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUINA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMIETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUINA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMIETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUINA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMIETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUINA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMIETUM	VUELTA LOS PÁJAROS	CASA CUINA	PARQUE LA GRANJA	GARCÍA ESCÁMEZ	PISCINA MUNICIPAL	HACIENDA	PALMIETUM	
1	49,6	97,4	97,9	97,0	98,8	65,3	85,6	92,5	97,0	96,7	98,0	94,1	92,0	96,0	94,4	95,2	90,3	91,1	88,5	99,1	98,7	72,5	96,3	97,6	93,9	96,9	96,7	98,0	86,0	22,8	96,0	93,1	92,8	94,4	98,1	
2	2,9	2	2,4	1,3	3,2	1,3	3,5	3	2,3	1,6	1,9	1,3	5,5	5,3	2	1,5	2	2	22,2	12,2	7,5	3,3	1,5	1	1,4	4,9	2,8	4,8	2,3	1,2	10,3	3,5	3,5	14,9	1,9	
3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	

1	CALIDAD DE DATOS (% datos válidos)
	< 90% datos válidos → MALA CALIDAD
2	CONCENTRACIÓN MÁX (Media horaria)
	SUPERACIÓN LÍMITES DE LA OMS
3	Corto plazo (24 h) de 4 mg/m ³
	>3 día al año
	NO HAY DATOS DISPONIBLES

Tabla 5.10. Resultados de evaluación de datos del contaminante CO. Elaboración propia.

5.2.1.2. Conclusiones de CA

Tras la revisión bibliográfica de algunos de los estudios sobre la calidad del aire de Santa Cruz de Tenerife, así como la evaluación de las características y datos de las estaciones de medición disponible, se han podido determinar principalmente las siguientes conclusiones:

- El nivel de contaminación atmosférico en Santa Cruz se encuentra caracterizado por la acción conjunta de emisiones naturales y emisiones derivadas de la actividad humana. Se han identificado las características orográficas, meteorológicas y eventos naturales, como la calima, el viento predominante, las brisas marinas locales y la inversión térmica como efectos naturales perjudiciales para la contaminación atmosférica. Mientras, las principales actividades humanas que representan una mayor repercusión en el nivel de calidad del aire de la ciudad son las vinculadas con el transporte rodado y marítimo.
- Atendiendo las directrices establecidas por la OMS para los contaminantes atmosféricos clásicos, se ha podido determinar que el caso de estudio presenta unas condiciones atmosféricas desfavorables para la salud de las personas.
- De forma general, se dispone de buena calidad de datos de SO₂, y no se superan los límites que suponen un riesgo para la salud. Sin embargo, las estaciones más cercanas al puerto (Palmetum y Hacienda) presentan una peor calidad de datos y mayores concentraciones de este contaminante. De esta manera, se demuestra que el tráfico marítimo es la principal fuente emisora, por encima incluso de los vehículos.
- Respecto al NO₂, se superan de manera significativa los límites de la OMS en las estaciones seleccionadas y a lo largo de todo el periodo de estudio, tanto a largo como a corto tiempo de exposición.
- Las estaciones más cercanas a vías de tráfico con mayor intensidad de uso (TF-1 y TF-5), presentan unos niveles de NO₂ y SO₂ superiores.
- La contaminación de materia particulada (PM₁₀ y PM_{2,5}) supera en la mayoría de las estaciones las directrices establecidas para una larga y corta exposición. Los resultados más perjudiciales coinciden con el año 2020, en el que se produjo un evento de calima extremo en la isla. De esta manera, se puede demostrar la afección que supone este efecto natural en la calidad del aire de la ciudad.
- No se ha podido identificar ningún patrón concreto que caracterice el nivel de contaminación por O₃. Las estaciones de Vuelta de Pájaros y García Escámez presentan más veces (2 años) una mayor cantidad de avisos para la salud de las personas. Además durante los años 2018 y 2020 se registraron una mayor número de avisos en conjunto.

- Se ha comprobado la relación inversa y directa entre las concentraciones de O₃ y uno de sus precursores el NO₂. Donde las estaciones con una mayor nivel de contaminación, presentan valores más reducidos de O₃ debido a su rápido consumo dado por la oxidación de NO y NO₂. Sin embargo, para caracterizar más detalladamente la generación y consumo de O₃ sería más adecuado disponer de datos relativos a otros precursores como el NO y COVs.
- Tras la evaluación de los datos disponibles de CO, se ha podido determinar que las estaciones de Vuelta de Pájaros, Casa Cuna y García Escámez presentan una disminución de la concentración media anual, mientras la Piscina Municipal presenta un aumento significativo. También se ha podido comprobar que de forma general las estaciones cumplen las directrices tanto a corto como largo periodo de exposición.
- Evaluando la calidad de datos de las estaciones de medición elegidas, se ha podido determinar que de forma general la mayoría cumplen el porcentaje mínimo establecido a lo largo del periodo de estudio. En algunos casos, como la medición de PM presentan una tendencia de mejora en los dos últimos años. Se considera de gran importancia disponer de una buena calidad de datos para entender de forma adecuada el comportamiento de la contaminación atmosférica de la ciudad, y de esta manera, diseñar estrategias locales más eficaces.
- Las estaciones más cercanas al puerto (Palmetum y Hacienda) no realizan mediciones de determinados contaminantes (PM) o presentan una mala calidad (SO₂ y NO₂), lo cual limita una evaluación más realista de la influencia de la actividad portuaria en la calidad del aire.
- Se ha identificado una distribución ineficaz de los medidores de calidad del aire, ya que se concentran la gran mayoría alrededor de la refinería debido a su función original de medir la afección de dicha actividad industrial en la ciudad. Se considera de gran importancia el control de la calidad del aire es una herramienta fundamental para la mejora de la misma. Algunas ciudades como Lisboa, Los Ángeles o París, han desarrollado una red de control de calidad del aire basado en sensores de calidad del aire de bajo coste con el fin de lograr [103]:
 - Comprender el riesgo de contaminación y los niveles de calidad del aire en la salud de las personas bajo el contexto de las normas y directrices locales e internacionales. Además de lograr un seguimiento adecuado de las políticas y aplicación de la normativa.
 - Identificar las distintas fuentes de contaminación, las ubicaciones de alta exposición y patrones espaciales de contaminación para un diseño de medidas de reducción más eficaces. Así como descubrir el impacto en las poblaciones marginadas y vulnerables.
 - Mejora en la calidad, la accesibilidad y la claridad de datos a una escala urbana que potencie la concienciación de los ciudadanos respecto al riesgo
- También se ha podido determinar que estaciones con una mayor densidad de vegetación, como es el caso de las situadas en el Parque La Granja y el Palmetum, no han supuesto una mejora de los resultados en determinados contaminantes como el caso del NO₂ y PM. Por lo que se puede concluir que el diseño de la vegetación no es la adecuada para lograr la reducción de algunos contaminantes atmosféricos. Más adelante se especifican los parámetros a tener en consideración para el diseño de espacios verdes con el fin de mejorar la calidad del aire.

5.3. INFRAESTRUCTURA VERDE EN SANTA CRUZ DE TENERIFE

En este apartado se ha evaluado tanto la vegetación natural existente y con mayor potencial de la zona como la vegetación urbana, con el fin de determinar si la ciudad de Santa Cruz de Tenerife dispone realmente de una IV, atendiendo a la definición determinada anteriormente.

5.3.1. Vegetación real y vegetación potencial de Santa Cruz de Tenerife

A través del visor de mapas de Canarias desarrollado por Grafcan [89], se ha podido evaluar tanto la **vegetación real** como la vegetación con un **mayor potencial** de la zona.

Como se muestra en la *Figura 5.12* la mayoría de la zona centro de la ciudad está identificada como área urbana, rural, industrial u otras áreas antrópicas, caracterizadas por escasa vegetación vascular. Además, el gran espacio ocupado por el puerto supone una desprovisión constante de vegetación en las zonas más cercanas a la costa. Mientras, la vegetación con mayor densidad, se desarrolla en las zonas de barranqueras y montañosas, donde se dispone principalmente de vegetación con una fisonomía de matorral (Cardonal tinerfeño, tunerales, comunidad de incienso y pinillo...) y herbazales (Cerrillal-panascal, herbazal subnitrófilo de cardo de medianías).



Por otro lado, se ha evaluado la vegetación con mayor potencial de desarrollo, la cual se encuentra marcada por las características orográficas y climáticas de Santa Cruz de Tenerife. Se ha podido comprobar que la actual vegetación dispuesta en la ciudad difiere significativamente con la vegetación que naturalmente debería extenderse por la zona. Como se muestra en la *Figura 5.13*, el cardonal (área naranja) se trata del tipo de vegetación con un mayor potencial en la zona centro de la ciudad. Los barrancos disponen de mayor capacidad de desarrollo de especies hidrofíticas (área azul oscuro) como el sauzal, el juncal o palmeral de borde y tarajal (verde), y las áreas costeras de tabaibal dulce (roja). Mientras las zonas más alejadas de la costa se identifica especies como el sabinar (amarillo), monteverde seco (blanco) y monteverde húmedo (azul claro).

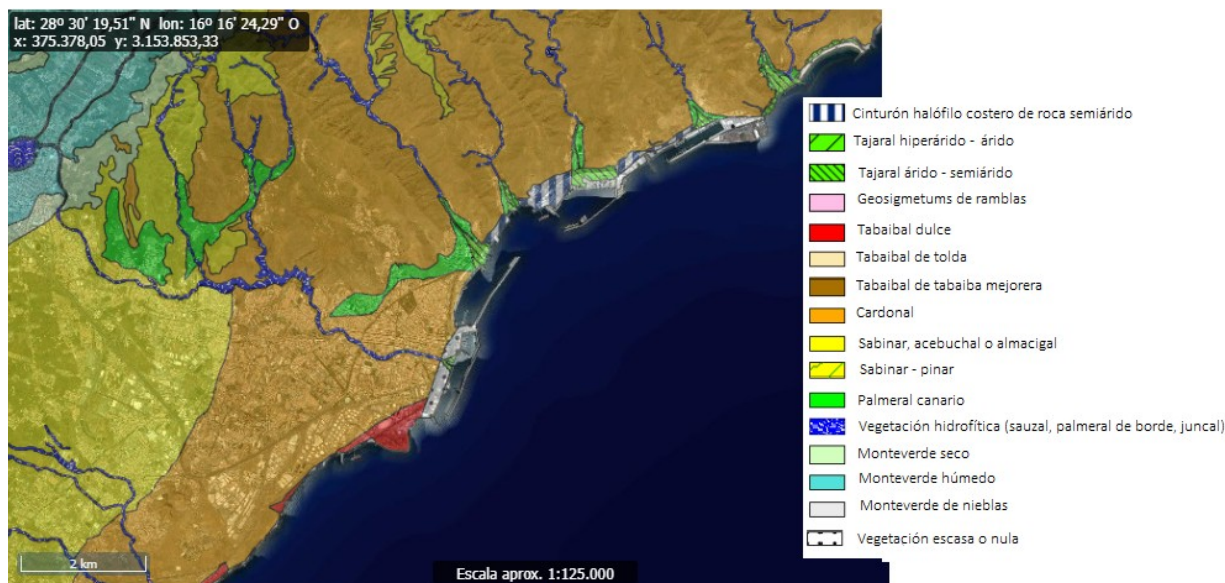


Figura 5.13. Vegetación potencial de Santa Cruz de Tenerife [88].

5.3.2. Vegetación urbana de Santa Cruz de Tenerife

La ciudad de Santa Cruz de Tenerife, durante el s. XIII y especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XIX, experimentó un importante cambio, en el cual el arbolado urbano representaba un importante papel. No presentaba únicamente objetivos en la mejora de la estética de la ciudad, sino también potenciar los posibles beneficios en la salud y en la higiene asociados a la vegetación urbana [104]. En este artículo, también identifica a la prensa, la sociedad civil y médicos canarios, como agentes principales de difusión de implementar espacios verdes en el entorno urbano. En el año 1868 el periódico *Eco del Comercio* ya mencionaba la importancia de la vegetación para la salud de los santacruceros.

la falta absoluta de arbolado perpetúa las enfermedades, y hace degenerar las razas. Los árboles suavizan la aspereza de los vientos secos del Norte, enemigos mortales del delicado pulmón y de los nervios irritables; debilitan el furor de los vientos, templan el abrasador calor de los países [sic] cálidos [...] en una palabra, neutralizan toda acción [sic] maléfica de la atmósfera y mantienen en ella aquel grado de humedad y de frescura, tan necesarias para la conservación [sic] de la vida (Eco del Comercio 08/08/1868: 1; 12/08/1868: 1)

Actualmente, no existe ni a escala insular ni municipal un Plan de Infraestructura Verde concreto. El Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife sí está trabajando en el desarrollo de estrategias aisladas como la elaboración del primer plan para crear corredores verdes y la renovación del arbolado de la ciudad [105]. Además, recientemente se ha retomado el megaproyecto de regeneración urbana Santa Cruz Verde 2030 [106], en el cuál el Ayuntamiento presenta conjuntamente como elementos clave del proyecto a los espacios verdes, el fomento del turismo y el crecimiento económico de la ciudad.

Santa Cruz de Tenerife dispone en sus alrededores de importantes entornos naturales protegidos, además de vegetación urbana, como el arbolado o palmeras canarias, y algunos parques urbanos situados en las zonas más céntricas de la ciudad. Por otro lado, cabe destacar que la vegetación de áreas privadas representa un importante porcentaje de la cobertura total de la vegetación urbana, alcanzando un 52% [107].



Figura 5.14. Ubicación de parques urbanos y espacios verdes en Santa Cruz de Tenerife. Elaboración propia.

Como se muestra en la *Figura 5.14*, Santa Cruz de Tenerife no dispone de una IV consistente, ya que los posibles componentes, como los parques urbanos, el arbolado de las calles y el gran porcentaje de cobertura vegetal privada, son elementos aislados. Además, la elevada cantidad de vías de tráfico dentro de la ciudad y la expansión poblacional, han dado lugar a una intensa e insostenible ocupación del suelo, y una destrucción y fragmentación del entorno natural.

Por este motivo, es fundamental el rediseño en todo su conjunto, para construir una red combinando elementos naturales, seminaturales y artificiales, que presente una mayor cohesión. Con el fin de lograr una transformación de la ciudad en un entorno más resistente y adaptativo a las necesidades, tanto presentes como futuras de la ciudadanía y medioambiente. De esta manera, conseguir el máximo provecho de los servicios ecosistémicos, y en concreto en la mejora de la calidad del aire. Ya que se ha podido comprobar, que algunas estaciones a pesar de disponer de alta densidad de vegetación como el Parque La Granja y el Palmetum, presentan elevados niveles de contaminación atmosférica.

Por otro lado, se está desarrollando el proyecto urbanístico acordado entre el Ayuntamiento y la empresa petrolera Cepsa de Santa Cruz Verde 2030 [105]. Consiste en la regeneración del terreno ocupado por la refinería, actualmente en desuso, para la creación de espacios verdes y equipamientos públicos. En cuanto a espacios verdes, se quiere desarrollar un eje verde de conexión entre las Ramblas y el Palmetum y el Parque Marítimo, además de crear una gran zona verde al norte de la actuación propuesta (41% de la superficie del proyecto destinada a espacios verdes). Sin embargo, otro aspecto clave del proyecto es potenciar el desarrollo de la actividad turística de la zona, con la creación de un hotel, y viviendas residenciales con futuro de convertirse en viviendas vacacionales.

Actualmente, existe un debate sobre los posibles intereses privados y económicos, así como la falta de transparencia y participación ciudadana en el desarrollo del mismo [108]. La turistificación, además de poder generar problemas sociales como la gentrificación de la zona y la inestabilidad e insostenibilidad económica que supone la gran dependencia del turismo, también puede suponer importantes impactos ambientales

como se ha podido comprobar en otras regiones de las Islas Canarias. Además de los efectos perjudiciales en la salud de la ciudadanía, por ejemplo aquella derivada de los altos niveles de contaminación que se pueden dar por una mayor circulación marítima y rodada turística, o una mayor ocupación y destrucción del entorno natural para soportar la expansión hotelera.

En el caso de futuros proyectos como *Santa Cruz Verde 2030*, se debería tener más en cuenta estrategias basadas en la IV, así como los distintos aspectos influyentes (características de contaminantes, fuentes de emisión, factores que perjudican la CA) detallados en este trabajo, para reducir la contaminación atmosférica, y consecuentemente mejorar la calidad de vida y saludabilidad de los santacruceros. Como ya se ha comentado, la IV puede suponer diversos beneficios, es por ello fundamental lograr una coordinación y el equilibrio en el proceso de planificación para que no se desarrollen efectos perjudiciales para la comunidad. Considerando prioritario el fortalecimiento de la salud en las ciudades antes que los beneficios económicos rápidos que reflejan una falsa seguridad futura en la ciudadanía.

5.4. ESTRATEGIAS DE IV PARA LA MEJORA DE CA EN SANTA CRUZ DE TENERIFE

Tras la evaluación de la actual situación de la contaminación atmosférica e IV en Santa Cruz de Tenerife, en este apartado se profundiza sobre el proceso de planificación de IV para la mejora de la calidad del aire. Finalmente, se han definido una serie de posibles estrategias a escala local que pueden presentar gran potencial de desarrollo en la ciudad.

5.4.1. Aspectos clave para la implementación de IV en Santa Cruz de Tenerife

Con el fin de obtener una IV eficaz, adecuada y completa para Santa Cruz de Tenerife, se han identificado una serie de aspectos clave:

- El diseño de la IV debe considerar las características generales que definen la misma. Como ya se ha comentado anteriormente, la conectividad entre los diferentes elementos y estrategias, así como su capacidad multifuncional, son fundamentales para potenciar al máximo los posibles beneficios, y aumentar la cohesión y estabilidad a largo plazo de la IV. Por otro lado, se debe priorizar la mejora de la calidad del aire y la salud de las personas por encima de cualquier otro tipo de interés económico y político.
- Emplear en la medida de lo posible vegetación autóctona, la cuál presentará una mayor adaptabilidad, y consecuente menor mantenimiento y coste económico. Además, favorecerá al incremento de la biodiversidad local, y fortalecerá la identidad propia de la región canaria.
- En la selección de especies para lograr una gestión eficaz de la IV, también se deben tener en cuenta otras consideraciones como los efectos estacionales, la superficie de las hojas o elección de especies no venenosas y alérgicas para la población [109].
- Garantizar un diseño de la vegetación que priorice la mejora de la calidad del aire y los beneficios de la comunidad local.
- Se debe tener en consideración que el rediseño de los espacios urbanos para que funciones como IV depende de una acción en conjunto del diseño, de los procesos de planificación y la participación de las partes interesadas y los sistemas de gobernanzas adecuados
- Disponer de una adecuada cantidad y distribución de sistemas de control de calidad del aire, así como una buena calidad de datos en las mediciones, permitirá comprender el comportamiento y características de la contaminación atmosférica de la ciudad. El conocimiento de las características del emplazamiento que marcan los niveles de contaminación, como la tipología de espacio urbano o la distancia de las fuentes emisoras, permiten un adecuado diseño de la IV que evite posibles efectos negativos en la calidad del aire.
- Un amplio control de la calidad del aire en gran parte de la extensión de la ciudad, permitirá identificar las regiones más vulnerables a la contaminación atmosférica y con mayor prioridad de actuación. De esta manera, se busca garantizar el derecho de aire limpio para todos los ciudadanos.
- La IV debe ser una estructura dinámica y adaptable a futuras necesidades de la ciudad. También cabe destacar, que la IV respecto a la infraestructura gris presenta una mayor capacidad técnica y económica de modificación.
- Para lograr una reducción más eficaz y rápida de los altos niveles de contaminación atmosférica de la ciudad, es fundamental combinar la IV con otras estrategias vinculadas con la reducción de emisiones controlables. Actuaciones sobre las principales fuentes emisoras como el tráfico rodado y la actividad portuaria son necesarias para no superar los límites establecidos que suponen un riesgo para la salud.

5.4.2. Estrategias de IV en Santa Cruz de Tenerife

Atendiendo a la definición, características y elementos que conforman una IV, comentada anteriormente (4.2. INFRAESTRUCTURA VERDE Y AZUL (IV)), se han podido identificar una serie de componentes urbanos y naturales existentes que pueden ser fundamentales para la posible futura IV de la ciudad (Tabla 5.11 y Figura 5.14). También se identifican como posibles espacios con posible potencial de desarrollo de IV son las actuales áreas industriales de la refinería y del puerto. Ambas destacan por la gran superficie que ocupan entorno a la ciudad y la grave influencia negativa que suponen en la calidad del aire.

TIPO	NATURALEZA	COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS
Parque urbano	Urbano	Parque García Sanabria	- Vegetación exótica y de gran densidad. - Dimensión: 67.230 m ²
		Parque La Granja	-Vegetación abierta, césped, vegetación de gran porte y vegetación exótica. - Abundantes árboles y palmeras, mientras escasean arbustos y herbáceas. -Dimensión 64.310 m ²
Jardín Botánico	Urbano	Palmetum	- Construida sobre una montaña artificial. - Mayor colección de palmeras en la UE (cerca de 600 especies de diferentes islas del mundo). - Cultivo de árboles y arbustos. - Dimensión: 120.000 m ²
Corredores arbolados	Urbano	Las Ramblas	-Avenida más grande de Canarias -Conecta la Plaza de la Paz con la Avenida Anaga (longitud: 1.900 m) - Dispone de: paseo peatonal (Anchura:12 m) y carriles de tráfico a cada lado (Anchura: 30 m) - Vegetación: laureles de Indias, flamboyanes, jacarandás, palmeras y plantas de temporada.
		Avenida Anaga	- Recorre todo el extremo marítimo de la ciudad - Línea de separación entre carretera y paseo peatonal, principalmente laureles de Indias
Barrancos	Natural	Barranco de Santos	- Atraviesa el centro urbano de la ciudad

Tabla 5.11. Posibles componentes de la futura IV en Santa Cruz de Tenerife. Elaboración propia.



Figura 5.15. Ubicación de componentes de IV en Santa Cruz de Tenerife

A continuación, se enumeran y describen una serie de estrategias a escala local que pueden formar parte o tenerse en consideración para el desarrollo de una IV a una mayor escala regional. Se han desarrollado principalmente dos líneas de actuación para la implementación de IV: regeneración de las áreas industriales y la rehabilitación y creación de corredores verdes.

REGENERACIÓN DE ÁREAS INDUSTRIALES

Regeneración del área portuaria. Transformación en Puerto Verde



Figura 5.16. Puerto de Santa Cruz de Tenerife

- Reducir el área de desprovisión vegetal que actualmente supone el puerto en toda el litoral de la ciudad.
- Dotar de conjuntos arbóreos y zonas verdes determinadas áreas del puerto (parkings y muro de separación).
- Se plantea la integración de IV como una posible estrategia para el desarrollo de Puerto Verde. Combinar con iniciativas basadas en la reducción de emisiones de contaminantes y estrategias de transporte sostenible en los puertos [110].
- Estudios y buenas prácticas: Puerto de Algeciras [111], Puerto de Málaga [112].

Regeneración de la refinería. Alternativa al proyecto Santa Cruz Verde 2030



Figura 5.17. Refinería de Santa Cruz de Tenerife

- Priorizar la mejora de calidad del aire y la salud de la comunidad local ante un intenso y rápido desarrollo económico y turístico.
- Desarrollo de un estudio completo para crear un espacio verde de calidad e integrado adecuadamente al entorno urbano. De esta manera, potenciar al máximo los posibles beneficios sociales, económicos y medioambientales.
- Recuperación del suelo contaminado.
- Generar espacios abiertos que permitan el libre desplazamiento de contaminantes de la ciudad-mar y viceversa.
- Estudios y buenas prácticas: refinería Stanic de Bari [113], refinería en Reynosa, México [114], Gas Works Park en Seattle, EEUU [115].

CORREDORES VERDES

Control de nivel de contaminación en Las Ramblas

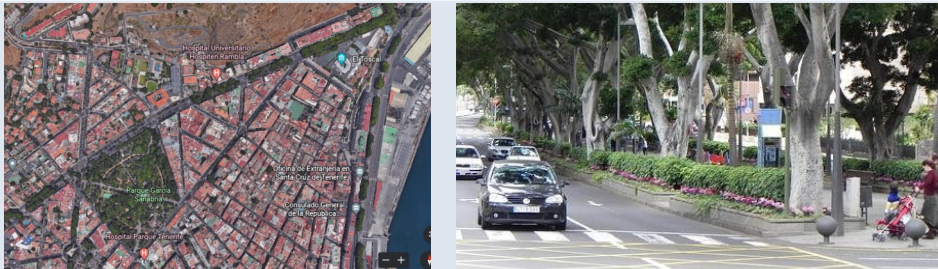


Figura 5.18. Las Ramblas de Santa Cruz de Tenerife

- Integrar sistemas de control de calidad del aire a lo largo de la avenida, con el fin de determinar el comportamiento de la contaminación atmosférica.
- Evaluar si la actual vegetación permite la dispersión de los contaminantes procedentes del paso de los vehículos.
- Asegurar una buena calidad del aire para la población circundante a la carretera (paseo peatonal central y viviendas).
- Estudiar posible sustitución completa o parcial de la carretera por espacios públicos abiertos y verdes.

Barrera vegetal en la Avenida Anaga

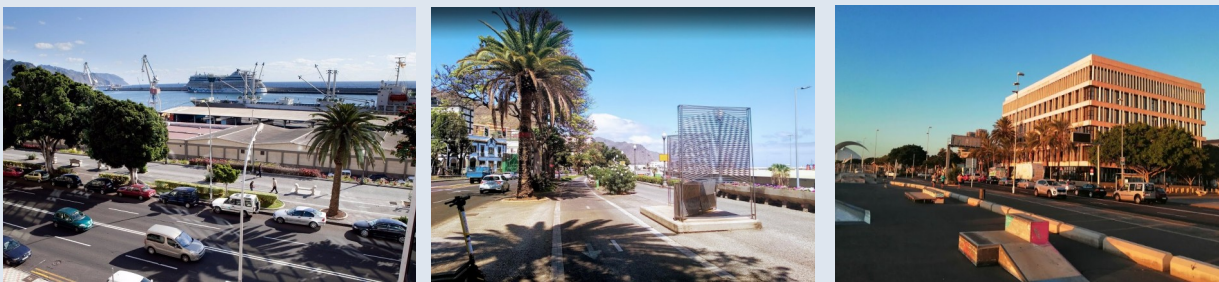


Figura 5.19. Avenida Anaga en Santa Cruz de Tenerife

- Implementación de una barrera vegetal que reduzca la intrusión a la ciudad de contaminantes procedentes de la actividad portuaria y las emisiones de los vehículos en el paseo peatonal.
- Necesario sistema de control de calidad del aire para evaluar posibles puntos críticos con mayor afección en el nivel de contaminación debido al tráfico rodado y marítimo.
- Reducción de área gris peatonal por áreas verdes.

Creación de corredor verde entre Parque La Granja y la Refinería



Figura 5.20. Vista de espacio urbano entre el Parque La Granja y la refinería en Santa Cruz de Tenerife

- Crear un corredor verde continuo entre con el fin de atenuar los efectos de emisiones de los vehículos.
- Evaluar si la vegetación situada en los cañones de calle presentan las características adecuadas para la reducción y eliminación de los contaminantes atmosféricos.
- Se considera necesario complementar con estrategias de movilidad sostenible, con el fin de reducir las

emisiones derivadas del transporte rodado

Creación de corredor verde en el Barranco Los Santos



Figura 5.21. Vista de espacio urbano entre el Parque La Granja y la refinería en Santa Cruz de Tenerife.

- Tomar provecho de la fragmentación natural que supone el barranco para creación de un corredor verde que genere una conexión natural transversal de la ciudad.
- La rehabilitación de la zona permitirá un mayor cuidado y mantenimiento, favoreciendo a una mejora estética de la ciudad.
- La renaturalización del barranco también permitirá reducir posibles escorrentías de agua en la ciudad.

Pantalla vegetal en las vías de tráfico

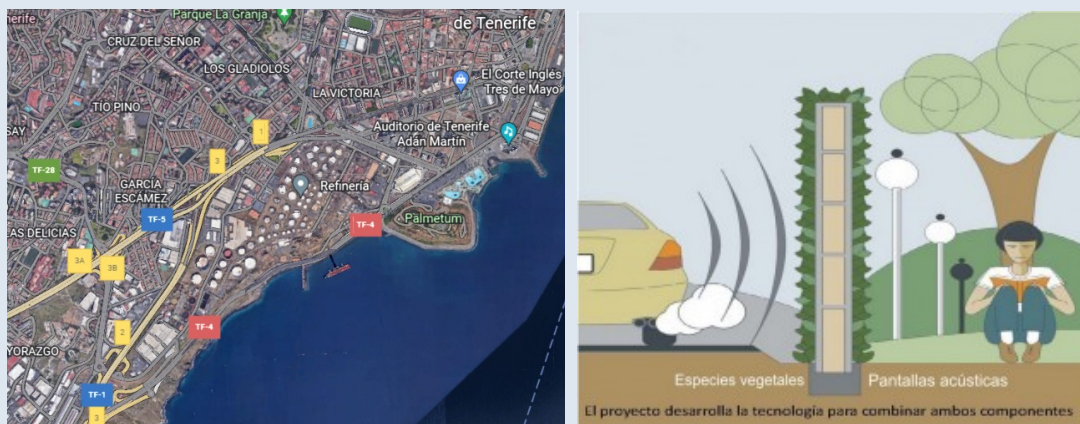


Figura 5.22. Ubicación vías con mayor densidad de tráfico (der.) y representación de barrera vegetal y pantalla acústica conjunta (izq.)

- Integrar pantallas vegetales en aquellas vías de tráfico con alta intensidad de tránsito y cercanas a población, entrada de la ciudad de la TF-4 y TF-5.
- El nivel de contaminación en el aire puede ser reducido a través de una barrera vegetal adecuadamente diseñada y posicionada respecto a la fuente de contaminación y a la geometría del lugar. Presentan gran eficiencia en la inmovilización y eliminación de contaminantes, tanto en forma de gas, partículas y aerosoles [116].
- La vegetación puede actuar de dos formas: como filtro el que se produce deposición física o como medio poroso que provoca el efecto de dispersión [117].
- Además presentan otros beneficios como reducir la contaminación acústica, lumínica y reducción de la temperatura.

Tabla 5.12. Posibles estrategias de IV a escala local para Santa Cruz de Tenerife.

Se han evaluado por separado algunos componentes naturales y urbanos que pueden formar parte de una futura IV y posibles estrategias a escala local. En la siguiente Figura 5.23 se muestra el plano general de vista en conjunto de posibles elementos y estrategias de IV para el caso de estudio. De esta manera, se busca la

continuidad y conectividad de las mismas, pudiendo formar un anillo verde que rodea la zona central de la ciudad de Santa Cruz de Tenerife. El cuál presenta una serie de **elementos núcleo** (Parque La Granja, Parque García Sanabria, Palmetum y espacio regenerado de la refinería), **elementos de amortiguamiento** (espacios verdes del puerto) y **elementos de conexión** (corredores verdes: Barranco Los Santos, Las Ramblas, Parque La Granja-Refinería y Avenida Anaga).

Cabe destacar que, tanto las estrategias individuales como la propuesta en conjunto, se han desarrollado en la zona central de Santa Cruz, ocupando, principalmente, la superficie de dos distritos municipales (Centro-Ifara y Salud-La Salle). Sin embargo, las zonas periféricas disponen de ciertos entornos rurales, y naturales que pueden presentar importantes beneficios ecosistémicos, como es el caso del Parque Natural de Anaga o la superficie dedicada al sector agrícola (Ver Figura 5.24). De esta manera, se considera fundamental tener en cuenta estos elementos, con el fin obtener una IV de mayor extensión, que pueda conectarse con otros distritos municipales u otras ciudades circundantes como San Cristóbal de La Laguna. Otro aspecto positivo sería una mayor integración de la ciudad en la naturaleza, reduciendo las barreras físicas, y evitando el desarrollo de una Infraestructura Verde Urbana aislada, lo que conlleva a una reducción de los posibles beneficios ecosistémicos.



Figura 5.23. Plano de vista conjunto de posibles elementos y estrategias de IV para Santa Cruz de Tenerife. Elaboración propia.



Figura 5.24. Vista Ocupación del suelo de las zonas periféricas de caso de estudio [88]. Elaboración propia.

6. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Como ya se ha comentado, este estudio presenta ciertas limitaciones. En primer lugar, el diseño de estrategias de IV para la mejora de calidad del aire del caso de estudio, se ha realizado de forma simplificada. Debido a la complejidad que supone la elaboración de una planificación completa de IV, únicamente, se han identificado posibles elementos clave para una futura IV en la ciudad. Este proceso se ha basado en la prioridad de actuación, teniendo en cuenta parámetros como el nivel de contaminación, proximidad de fuentes emisoras y características generales del entorno.

A través de la revisión bibliográfica, de los conceptos teóricos desarrollados y algunos ejemplos de buenas prácticas, se han diseñado, de forma general, cada una de las propuestas. Sin embargo, no se ha trabajado con ninguna metodología de seguimiento para determinar si dichas medidas suponen realmente una disminución de la contaminación atmosférica. En este trabajo se han identificado una serie de herramientas y modelos que se emplean para medir la influencia de la IV para la mejora de la calidad del aire, concretamente en la reducción de la contaminación atmosférica. De esta manera, una futura línea de investigación podría optar por el uso de alguna de estas metodologías existentes, o desarrollar una nueva a partir de las mismas, con el fin, de analizar detalladamente las consecuencias y la efectividad de las propuestas de IV para la mejora de la calidad del aire en Santa Cruz de Tenerife. La cuál, podría suponer un ejemplo para planificar y diseñar IV en otras ciudades con características similares, como otras regiones localizadas en Canarias, así como otras ciudades con condiciones climáticas más secas y precipitaciones escasas.

También, a partir de la revisión bibliográfica realizada, se ha podido determinar que existe una falta de estudios que evalúe si la vegetación, tanto autóctona como exóticas más comunes en las Islas Canarias, es capaz de reducir o eliminar la contaminación atmosférica. Por lo tanto, futuras investigaciones podrían estar vinculadas a analizar la viabilidad técnica, así como las sus características y condiciones exteriores necesarias, para que pueda formar parte de una IV, que sea capaz de mejorar la calidad del aire en los entornos urbanos.

7. CONCLUSIONES

Este trabajo ha podido demostrar que la contaminación atmosférica supone una importante problemática, tanto presente como futura, en la salud de las personas. Especialmente, los entornos urbanos son las regiones con un mayor ámbito de vulnerabilidad, ya que en estos se concentra un alto porcentaje de la ciudadanía, y presentan una elevada concentración de contaminantes derivada de la intensa actividad humana.

Tras la revisión bibliográfica, se ha determinado que dentro de los múltiples beneficios que puede suponer la IV, la reducción y eliminación de la contaminación atmosférica, se trata de uno de ellos. También se ha demostrado como la implementación de IV en los entornos urbanos supone una mejora en la salud de la ciudadanía. De esta manera, se concluye, por un lado, en la importancia de estudiar e incluir este tipo de Soluciones basadas en la Naturaleza para la mejora de la calidad de vida en las ciudades y sus alrededores.

Por otro lado, la eficacia de los distintos mecanismo empleados por la IV (deposición física y dispersión aerodinámica), está limitada por ciertos parámetros como la configuración y dimensión de la IV, la distancia entre la fuente de emisora y la IV, tipo de vegetación, características generales de la localización, etc. De esta manera, se concluye que no existe ningún patrón universal de IV que sea capaz de adecuarse a todo tipo de espacio urbano. Es por este motivo, que sea necesario la consideración de todo los parámetros de diseño para cada circunstancia concreta.

Se ha desarrollado como caso estudio la ciudad de Santa Cruz de Tenerife, con el fin de evaluar la implementación de IV en una región con una climatología específica (seca y árida) y con un alta actividad antropogénica. Se han identificado una serie de factores, tanto naturales (clima, orografía, inversión térmica, vientos locales y predominantes) como derivados de la actividad humana (tráfico rodado y marítimos) que caracterizan la mala calidad del aire. Evaluando la actual red de medidores de Calidad del Aire de la ciudad, se ha comprobado que los últimos años se ha registrado, de forma general, una buena calidad de datos, y se ha podido determinar una superación de los límites de la OMS en los contaminantes NO₂, PM₁₀, PM_{2,5} y O₃, mientras no lo superan el CO ni SO₂. Sin embargo se ha determinado la necesidad en la ampliación de la red para obtener un mayor conocimiento del comportamiento de la contaminación atmosférica, y lograr consecuentemente, un diseño más eficaz de estrategias para la mejora de la calidad del aire. Por otro lado, atendiendo a la definición y características de una IV expuestas en este trabajo, se ha determinado que la ciudad no cuenta con una adecuada IV. Finalmente, se han enumerado una serie de estrategias aisladas, con prioridad de actuación por sus altas emisiones contaminantes, como las áreas industriales (zona portuaria u antigua refinería) y las principales vías de tráfico (autopistas y carreteras interiores). Además de potenciar actuales elementos naturales y seminaturales para configurar una futura IV con una mayor cohesión, y que priorice la mejora de la calidad del aire.

8. REFERENCIAS

- [1] IPCC. *AR6.WGI. Artículo 3: Influencia humana en el sistema climático*, 2021. Available: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter_03.pdf
- [2] United Nations, "World Urbanization Prospects. Nueva York, 2014". Available: <https://population.un.org/wup/publications/files/wup2014-highlights.Pdf>
- [3] L. Epelde *et al*, "Quantification of the environmental effectiveness of nature-based solutions for increasing the resilience of cities under climate change," *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 67, pp. 127433, 2022. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S161886672100460X>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127433>.
- [4] D. Kim and S.-K. Song, "The Multifunctional Benefits of Green Infrastructure in Community Development: An Analytical Review Based on 447 Cases," *Sustainability*, vol. 11, no. 14, p. 3917, Jul. 2019, DOI: [10.3390/su11143917](https://doi.org/10.3390/su11143917).
- [5] J. M. Baldasano, "rends and patterns of air quality in Santa Cruz de Tenerife (Canary Islands) in the period 2011–2015," *Air Qual Atmos Health*, vol. 10, p. 939-954, 2017. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11869-017-0484->
- [6] Y. González and S. Rodríguez, "A comparative study on the ultrafine particle episodes induced by vehicle exhaust: A crude oil refinery and ship emissions," *Atmos. Res.*, vol. 120-121, pp. 43-54, 2013. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809512002633>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.08.001>.
- [7] J. M. Baldasano *et al*, "Integrated assessment of air pollution using observations and modelling in Santa Cruz de Tenerife (Canary Islands)," *Sci. Total Environ.*, vol. 473-474, pp. 576-588, 2014. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713015350>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.062>.
- [8] WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [9] K. . Dounia and A. . Boudjemaa, "Batna City from Organized Planning to Distortion (Case Study Biskra Road Axis - Algeria)", *Mediterr. J. Soc. Sci.*, vol. 13, no. 1, p. 77, Jan. 2022. Available: <https://www.richtmann.org/journal/index.php/mjss/article/view/12813>
- [10] Mohamed *et al*., "Visual pollution manifestations negative impacts on the people of Saudi Arabia ," *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, vol. 8, p. 994-101, 2021. Available: [Home - International Journal of ADVANCED AND APPLIED SCIENCES \(science-gate.com\)](https://www.science-gate.com/home-international-journal-of-advanced-and-applied-sciences)
- [11] R. Curo Paquiyauri, "Contaminación acústica y su relación con los efectos en la salud de los pobladores del centro histórico de Ayacucho, 2019," *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*, 2022. Available: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2423>.
- [12] R. Thompson *et al*, "Noise pollution and human cognition: An updated systematic review and meta-analysis of recent evidence," *Environ. Int.*, vol. 158, pp. 106905, 2022. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412021005304>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106905>.
- [13] S. Xue *et al*, "Emission, dispersion, and potential risk of volatile organic and odorous compounds in the exhaust gas from two sludge thermal drying processes," *Waste Manage.*, vol. 138, pp. 116-124, 2022. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X21006280>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.040>.

- [14] X. Li *et al*, "Overviewing the air quality models on air pollution in Sichuan Basin, China," *Chemosphere*, vol. 271, pp. 129502, 2021. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520337000>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129502>.
- [15] X. Bai, H. Chen and B. G. Oliver, "The health effects of traffic-related air pollution: A review focused the health effects of going green," *Chemosphere*, vol. 289, pp. 133082, 2022. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521035542>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133082>.
- [16] UCAR. "What is Air Quality", "Center for Science Education", 2020. Available: <https://scied.ucar.edu/learning-zone/air-quality/what-is-air-quality>
- [17] M. Kampa and E. Castanas, "Human health effects of air pollution," *Environmental Pollution*, vol. 151, (2), pp. 362-367, 2008. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749107002849>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012>.
- [18] M. Chukwu, S. Morse, and R. Murphy, "Poor Air Quality in Urban Settings: A Comparison of Perceptual Indicators, Causes and Management in Two Cities," *Sustainability*, vol. 14, no. 3, p. 1438, Jan. 2022, doi: 10.3390/su14031438
- [19] H. Liu, W. Cui and M. Zhang, "Exploring the causal relationship between urbanization and air pollution: Evidence from China," *Sustainable Cities and Society*, vol. 80, pp. 103783, 2022. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670722001135>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103783>.
- [20] Consellería de Agricultura, "Desarrollo Rural ,Emergencia Climática y Transición Ecológica,". Available: <https://agroambient.gva.es/es/web/calidad-ambiental/la-contaminacion-atmosferica>
- [21] S. Khomenko *et al*, "Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment," *The Lancet Planetary Health*, vol. 5, (3), pp. e121-e134, 2021. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542519620302722>. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30272-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30272-2).
- [22] X. Zhang *et al*, "Linking urbanization and air quality together: A review and a perspective on the future sustainable urban development," *J. Clean. Prod.*, vol. 346, pp. 130988, 2022. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622006230>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130988>.
- [23] Bacharach, "Fuentes de emisiones de Nox", 2019. Available: <https://www.mybacharach.com/es/fuentes-emisiones-nox/>
- [24] GreenFacts, "Óxidos de nitrógeno (Nox)". Available: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/oxidos-nitrogeno-nox-oxido-nitrico-no-dioxido-nitrogeno-no2.htm>
- [25] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. "Partículas en suspensión". Available: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/particulas.aspx>.
- [26] S. Imanet al, "A Review on Climate, Air Pollution, and Health in North Africa," *Curr Envir Health Rpt* 9, 276–298, 2022. Available: <https://doi.org/10.1007/s40572-022-00350-y>
- [27] Z. Yang *et al*, "Air pollution and mental health: the moderator effect of health behaviors," *Environ. Res. Lett.*, vol. 16, (4), pp. 044005, 2021. Available: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe88f>. DOI: 10.1088/1748-9326/abe88f.
- [28] S. Marchetti *et al*, "Seasonal Variation in the Biological Effects of PM2.5 from Greater Cairo," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 20, no. 20, p. 4970, Oct. 2019. Available: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/20/4970#cite>. DOI: 10.3390/ijms20204970.
- [29] A. M. Mohammed, Y. H. Ibrahim and I. A. Saleh, "Estimation of hospital admission respiratory disease cases attributed to exposure to SO2 and NO2 in two different sectors of Egypt," *African Health Sciences*, vol. 19, (4), pp. 2892-2905, 2019. Available: <https://www.ajol.info/index.php/ahs/article/view/192263>. DOI: 10.4314/ahs.v19i4.11.
- [30] A. Wheida *et al*, "Tackling the mortality from long-term exposure to outdoor air pollution in megacities: Lessons from the Greater Cairo case study," *Environmental Research*, vol. 160, pp. 223-231, 2017. Available: https://www.researchgate.net/publication/320383914_Tackling_the_mortality_from_long-term_exposure_to_outdoor_air_pollution_in_megacities_Lessons_from_the_Greater_Cairo_case_study. DOI: 10.1016/j.envres.2017.09.028.

- [31] P. Guzmán *et al*, "Effects of air pollution on dementia over Europe for present and future climate change scenarios," *Environ. Res.*, vol. 204, pp. 112012, 2022. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935121013074>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112012>.
- [32] M. J. R. Vilcassim *et al*, "Exposure to air pollution is associated with adverse cardiopulmonary health effects in international travellers," *Journal of Travel Medicine*, vol. 26, (5), pp. taz032, 2019. Available: <https://doi.org/10.1093/jtm/taz032>. DOI: [10.1093/jtm/taz032](https://doi.org/10.1093/jtm/taz032).
- [33] Z. Liang *et al*, "Migrant population is more vulnerable to the effect of air pollution on preterm birth: Results from a birth cohort study in seven Chinese cities," *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 222, (7), pp. 1047-1053, 2019. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438463919301798>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.07.004>.
- [34] J. Chen and G. Hoek, "Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis," *Environ. Int.*, vol. 143, pp. 105974, 2020. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020319292>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>.
- [35] P. Huangfu and R. Atkinson, "Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis," *Environ. Int.*, vol. 144, pp. 105998, 2020. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041202031953X>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998>.
- [36] P. Orellano *et al*, "Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis," *Environ. Int.*, vol. 142, pp. 105876, 2020. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020318316>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876>.
- [37] P. Orellano, J. Reynoso and N. Quaranta, "Short-term exposure to sulphur dioxide (SO₂) and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis," *Environ. Int.*, vol. 150, pp. 106434, 2021. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412021000593>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106434>.
- [38] X. Zheng *et al*, "Short-term exposure to ozone, nitrogen dioxide, and sulphur dioxide and emergency department visits and hospital admissions due to asthma: A systematic review and meta-analysis," *Environ. Int.*, vol. 150, pp. 106435, 2021. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041202100060X>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106435>.
- [39] K. K. Lee *et al*, "Short-term exposure to carbon monoxide and myocardial infarction: A systematic review and meta-analysis," *Environ. Int.*, vol. 143, pp. 105901, 2020. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020318560>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105901>.
- [40] P. Sicard *et al*, "Urban population exposure to air pollution in Europe over the last decades," *Environ Sci Eur*, vol. 33,28, 2021. Available: <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00450-2>
- [41] European Environment Agency, "Nature-based solutions Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction," 2021. Available: <https://www.eea.europa.eu/publications/nature-based-solutions-in-europe>
- [42] E. Cohen-Shacham., *et al*. "Nature-based solutions to address global societal challenges," IUCN, vol. 36, 2016. Available: <https://portals.iucn.org/library/node/46191>
- [43] M. T. C. López, "La planificación y gestión de la Infraestructura Verde en la Comunidad Valenciana," *Revista Aragonesa De Administración Pública*, (43), pp. 215-234, 2014. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5080168>.
- [44] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, "Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas," Orden PCM/735/2021. Available: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/eniv_2021_tcm30-515864.pdf
- [45] I. Marschall *et al*, "How to push the implementation of the European Green Belt by landscape policy instruments?," 2014. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/224752708.pdf>

- [46] O.W. "US EPA. *Policy Guides*,"-10-02T17:23:41-04:00, 2015. Available:<https://www.epa.gov/green-infrastructure/policy-guides>.
- [47] M. Benedict et al., "*Green Infrastructure. Linking Landscapes and Communities*-London:2006, " Ed. ISLAND PRESS, Available:<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2xTjvYqzFNkC&oi=fnd&pg=PR5&dq=BENEDICT,M+et+al.+Green+Infrastructure.+Linking+Landscapes+and+Communities&ots=3pWahIXLTw&sig=QXcJivSHw4DCJirKmN7tVfcMkKg#v=onepage&q=BENEDICT%2CM%20et%20al.%20Green%20Infrastructure.%20Linking%20Landscapes%20and%20Communities&f=false>
- [48] T. Matthews, A. Y. Lo and J. A. Byrne, "Reconceptualizing green infrastructure for climate change adaptation: Barriers to adoption and drivers for uptake by spatial planners," *Landscape Urban Plann.*, vol. 138, pp. 155-163, 2015. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204615000419>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.010>.
- [49] Silva, José Maria Cardoso da and E. Wheeler, "Ecosystems as infrastructure," *Perspectives in Ecology and Conservation*, vol. 15, (1), pp. 32-35, 2017. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1679007316300767>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2016.11.005>.
- [50] FEMP, ASEJA, AEPJP, "Guía de la Infraestructura Verde Municipal," Available:https://redbiodiversidad.es/sites/default/files/GUIA_Biodiversidad_CAPITULOS1_5.pdf
- [51] K. Rusche, M. Reimer, and R. Stichmann, "Mapping and Assessing Green Infrastructure Connectivity in European City Regions," *Sustainability*, vol. 11, no. 6, p. 1819, Mar. 2019, doi: 10.3390/su11061819.
- [52] H. Skokanová et al, "The role of traditional agricultural landscape structures in changes to green infrastructure connectivity," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 302, pp. 107071, 2020. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880920302577>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107071>.
- [53] I. Aguado-Moralejo et al., "De los anillos verdes a las infraestructuras verdes: tres estudio de caso en América | Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles," Available: <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/3177>.
- [54] Y. Liu et al., "A method of linking functional and structural connectivity analysis in urban green infrastructure network construction," *Urban Ecosyst*, 25, 909–925, 2022. Available:<https://doi.org/10.1007/s11252-022-01201-2>
- [55] Comisión Europea, "Infraestructura verde para Europa," Medio Ambiente, 2014. Available:<https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/GI-Brochure-210x210-ES-web.pdf>
- [56] Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, "La Infraestructura Verde Urbana de Vitoria-Gasteiz. Documento de propuesta," 2014. Available:<https://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/eu/32/95/53295.pdf>
- [57] C. G. Sant'Anna, "LA INFRAESTRUCTURA VERDE Y EL PAISAJE: LA EXPERIENCIA DEL GRAN LONDRES," *SusBCity*, vol. 4, (1), pp. 1-4, 2022. Available: <http://200.46.139.234/index.php/SusBCity/article/view/2733>.
- [58] C. Choi, P. Berry and A. Smith, "The climate benefits, co-benefits, and trade-offs of green infrastructure: A systematic literature review," *J. Environ. Manage.*, vol. 291, pp. 112583, 2021. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721006459>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112583>.
- [59] L. O'Brien et al, "Cultural ecosystem benefits of urban and peri-urban green infrastructure across different European countries," *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 24, pp. 236-248, 2017. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866716300097>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.002>.
- [60] S. Meerow and J. P. Newell, "Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit," *Landscape Urban Plann.*, vol. 159, pp. 62-75, 2017. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204616302250>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.10.005>.
- [61] J. Fallmann, R. Forkel and S. Emeis, "Secondary effects of urban heat island mitigation measures on air quality," *Atmos. Environ.*, vol. 125, pp. 199-211, 2016. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231015305094>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.094>.

- [62] L. Chen *et al*, "Modeling Impacts of Urbanization and Urban Heat Island Mitigation on Boundary Layer Meteorology and Air Quality in Beijing Under Different Weather Conditions," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 123, (8), pp. 4323-4344, 2018. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2017JD027501>. DOI: [10.1002/2017JD027501](https://doi.org/10.1002/2017JD027501).
- [63] V. Anderson and W. A. Gough, "Chapter 8 - form, function, and nomenclature: Deconstructing green infrastructure and its role in a changing climate," in *Climate Change and Extreme Events*, A. Fares, Ed. 2021, Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128227008000056>. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822700-8.00005-6>.
- [64] A. Tiwari *et al*, "Considerations for evaluating green infrastructure impacts in microscale and macroscale air pollution dispersion models," *Sci. Total Environ.*, vol. 672, pp. 410-426, 2019. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719313488>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.350>.
- [65] A. P. R. Jeanjean, P. S. Monks and R. J. Leigh, "Modelling the effectiveness of urban trees and grass on PM2.5 reduction via dispersion and deposition at a city scale," *Atmos. Environ.*, vol. 147, pp. 1-10, 2016. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231016307336>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.033>.
- [66] W. Selmi *et al*, "Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France," *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 17, pp. 192-201, 2016. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866716301571>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.010>.
- [67] T. A. M. Pugh *et al*, "Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 46, (14), pp. 7692-7699, 2012. Available: <https://doi.org/10.1021/es300826w>. DOI: [10.1021/es300826w](https://doi.org/10.1021/es300826w).
- [68] S. Janhäll, "Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion," *Atmos. Environ.*, vol. 105, pp. 130-137, 2015. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231015000758>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>.
- [69] C. Gromke, N. Jamarkattel and B. Ruck, "Influence of roadside hedgerows on air quality in urban street canyons," *Atmos. Environ.*, vol. 139, pp. 75-86, 2016. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223101630351X>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.014>.
- [70] K. V. Abhijith *et al*, "Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review," *Atmos. Environ.*, vol. 162, pp. 71-86, 2017. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231017303151>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.014>.
- [71] D. Han *et al*, "A review on particulate matter removal capacity by urban forests at different scales," *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 48, pp. 126565, 2020. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S161886671930648X>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126565>.
- [72] M. Viecco *et al*, "Green roofs and green walls layouts for improved urban air quality by mitigating particulate matter," *Build. Environ.*, vol. 204, pp. 108120, 2021. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132321005217>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108120>.
- [73] F. J. Escobedo *et al*, "Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality," *J. Environ. Manage.*, vol. 86, (1), pp. 148-157, 2008. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479706003823>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.029>.
- [74] B.A. Currie and B. Bass, " Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model," *Urban Ecosyst*, 11, 409–422, 2008. Available: <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0054-y>
- [75] A. P. R. Jeanjean *et al*, "Air quality affected by trees in real street canyons: The case of Marylebone neighbourhood in central London," *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 22, pp. 41-53, 2017. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866716303740>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.009>.

- [76] J. Baik *et al*, "Effects of building roof greening on air quality in street canyons," *Atmos. Environ.*, vol. 61, pp. 48-55, 2012. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012006607>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.076>.
- [77] M. T. I. Cabaraban *et al*, "Modeling of air pollutant removal by dry deposition to urban trees using a WRF/CMAQ/i-Tree Eco coupled system," *Environmental Pollution*, vol. 176, pp. 123-133, 2013. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749113000213>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.006>.
- [78] V. M. Jayasooriya *et al*, "Green infrastructure practices for improvement of urban air quality," *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 21, pp. 34-47, 2017. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866715301539>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.007>.
- [79] A. N. Muresan *et al*, "Assessment of air pollutants removal by green infrastructure and urban and peri-urban forests management for a greening plan in the Municipality of Ferrara (Po river plain, Italy)," *Ecol. Ind.*, vol. 135, pp. 108554, 2022. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X22000255>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108554>.
- [80] P. Pakzad and P. Osmond, "Developing a Sustainability Indicator Set for Measuring Green Infrastructure Performance," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 216, pp. 68-79, 2016. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815061893>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.009>.
- [81] K. Zimmermann and L. Dahae, "Environmental Justice and Green Infrastructure in the Ruhr. From Distributive to Institutional Conceptions of Justice," *Frontiers in Sustainable Cities*, vol. 3, pp. 669944, 2021. Available: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=u8RmEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA31&dq=indicators+air+quality+and+green+infrastructure&ots=EDxj5UDrNy&sig=58VNBvdg1E5cyiuu4xvYIUAXCk#v=onepage&q=indicators%20air%20quality%20and%20green%20infrastructure&f=false>
- [82] A. N. Muresan *et al*, "Assessment of air pollutants removal by green infrastructure and urban and peri-urban forests management for a greening plan in the Municipality of Ferrara (Po river plain, Italy)," *Ecol. Ind.*, vol. 135, pp. 108554, 2022. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X22000255>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108554>.
- [83] P. Pakzad, P. Osmond and L. Corkery, "Developing Key Sustainability Indicators for Assessing Green Infrastructure Performance," *Procedia Engineering*, vol. 180, pp. 146-156, 2017. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817316818>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.174>.
- [84] M. Rayan, D. Gruehn and U. Khayyam, "Green infrastructure indicators to plan resilient urban settlements in Pakistan: Local stakeholder's perspective," *Urban Climate*, vol. 38, pp. 100899, 2021. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095521001292>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100899>.
- [85] P. Kumar *et al*, "The nexus between air pollution, green infrastructure and human health," *Environ. Int.*, vol. 133, pp. 105181, 2019. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019319683>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105181>.
- [86] D. J. Nowak *et al*, "Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health," *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 29, pp. 40-48, 2018. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866717302182>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>.
- [87] E. W. Bodnaruk *et al*, "Where to plant urban trees? A spatially explicit methodology to explore ecosystem service tradeoffs," *Landscape Urban Plann.*, vol. 157, pp. 457-467, 2017. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016920461630175X>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.08.016>.
- [88] Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife, "Distritos de la ciudad," Available: <https://www.santacruzdetenerife.es/web/distritos-de-la-ciudad/distritos-de-la-ciudad>
- [89] IDECanarias, "Visor de mapas GRAFCAN," Available: <https://visor.grafcan.es/visorweb/>
- [90] D. Cañadillas-Ramallo *et al*, "The influence of extreme dust events in the current and future 100% renewable power scenarios in Tenerife," *Renewable Energy*, vol. 184, pp. 948-959, 2022.

Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014812101733X>.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.013>.

[91] E. López Villarrubia *et al*, "Caracterización del ambiente atmosférico en Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife. 200 a 2004," *Rev Esp Salud Pública*, vol. 5, 2008.

Available: https://www.sanidad.gob.es/fr/biblioPublic/publicaciones/recursos_propios/resp/revista_cdrom/vol82/vol82_5/RS825C_493.pdf

[92] S. Cabrera Encinoso, "Análisis de las partículas contaminantes PM_{2,5} en Santa Cruz de Tenerife," Universidad de La Laguna, 2021. Available: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/23035/Analisis%20de%20las%20particulas%20contaminantes%20Pm2%2C5%20en%20Santa%20Cruz%20de%20Tenerife.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[93] E. Cuevas *et al*, "Assessment of atmospheric processes driving ozone variations in the subtropical North Atlantic free troposphere," *ACPD*, vol. 12, 28385-28450, 2012

Available: <https://acp.copernicus.org/preprints/12/28385/2012/acpd-12-28385-2012.pdf>

[94] C. Reche *et al*, "New considerations for PM, Black Carbon and particle number concentration for air quality monitoring across different European cities," *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 11, (13), pp. 6207-6227, 2011. Available: <https://acp.copernicus.org/articles/11/6207/2011/>. DOI: 10.5194/acp-11-6207-2011.

[95] J. Guerra *et al*, "Study on the formation and transport of ozone in relation to the air quality management and vegetation protection in Tenerife (Canary Islands)," *Chemosphere*, vol. 56, (11), pp. 1157-1167, 2004. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653504003613>.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.03.017>.

[96] F. de Pablo *et al*, "Contaminación atmosférica en Canarias: 2007-2009," *Jcame*, (32), 2012. Available: <https://pub.ame-web.org/index.php/JRD/article/view/1577>.

[97] A. Domínguez-Rodríguez *et al*, "Comparative Study of Ambient Air Particles in Patients Hospitalized for Heart Failure and Acute Coronary Syndrome," *Revista Española De Cardiología (English Edition)*, vol. 64, (8), pp. 661-666, 2011. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1885585711002908>.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rec.2010.12.023>.

[98] C. Milford *et al*, "Forecasting the air pollution episode potential in the canary islands," in 2008/04/09, Available: <https://asr.copernicus.org/articles/2/21/2008/>. DOI: 10.5194/asr-2-21-2008.

[99] CALIOPE, "Sistema de pronóstico de la calidad del aire," 2022. Available: <http://www.bsc.es/caliop/e/s>

[100] Á Ares *et al*, "Study of the air quality in industrial areas of Santa Cruz de Tenerife (Spain) by active biomonitoring with *Pseudoscleropodium purum*," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 74, (3), pp. 533-541, 2011. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651310002162>.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.08.019>.

[101] Gobierno de Canarias, "Red de estaciones de la calidad del aire," 2022. Available: https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/temas/calidad/red_de_estaciones_de_calidad_del_aire/

[102] Gobierno de Canarias, "Índice de Calidad del Aire," 2022.

Available: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medioambiente/calidaddelaire/ica.do>

[103] Anonymous (). *Sensing Change: How cities are using new sensing technologies to achieve air quality goals*. Available: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Sensing-Change-How-cities-are-using-new-sensing-technologies-to-achieve-air-quality-goals?language=en_US.

[104] M. C. Naranjo Santana, "Arbolado urbano, higienismo y redes de conocimiento en Canarias," *Recherches*, vol. 26, (26), pp. 175-205, 2021. Available: <https://doaj.org/article/0010998343014c5693c9c55a74897d96>. DOI: 10.4000/cher.558.

[105] E. Reverón. (2021-11-14T00:00:37+0000). *Santa Cruz de Tenerife elaborará el primer plan para crear «corredores verdes» y renovar sus árboles*. Available: <https://www.eldia.es/santa-cruz-de-tenerife/2021/11/14/santa-cruz-tenerife-elaborara-primer-59496551.html>.

[106] Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife, "Presentación Santa Cruz Verde 2030," 2022.

Available: <https://www.santacruzdetenerife.es/web/presentacion-santa-cruz-verde-2030>

[107] Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife, "Santa Cruz supera las recomendaciones de la OMS respecto a superficie verde en la ciudad 2030," 2021. Available: <https://www.santacruzdetenerife.es/web/servicios-municipales/medioambiente-y-sanidad/noticias/noticia/santa-cruz-supera-las-recomendaciones-de-la-oms-respecto-a-superficie-verde-en-la-ciudad>

- [108] M. Hübscher, "Planning behind Closed Doors: Unlocking Large-Scale Urban Development Projects Using the Stakeholder Approach on Tenerife, Spain," *Land*, vol. 11, no. 3, p. 390, Mar. 2022. Available: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/3/390#cite>. DOI: 10.3390/land11030390
- [109] P. Kumar, K. V. Abhijith and Y. Barwise, *Implementing Green Infrastructure for Air Pollution Abatement: General Recommendations for Management and Plant Species Selection*. 2019 Available: <https://openresearch.surrey.ac.uk/esploro/outputs/book/Implementing-Green-Infrastructure-for-Air-Pollution/99511017702346>. DOI: 10.6084/m9.figshare.8198261.v4.
- [110] Oficina de Pblaciones de la Unión Europea, "Infraestructura portuaria: Libro Verde," Document 51997DC0678, 2008. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/LSU/?uri=CELEX:51997DC0678>
- [111] Ayuntamiento de Algeciras, "Proyecto de integración de zonas verdes en el ámbito del vía principal del puerto," Available: <https://landscape.coac.net/proyecto-de-integracion-de-zonas-verdes-en-el-ambito-del-vial-principal-del-puerto-de-algeciras-y>
- [112] Anonymous "Iniciativa Puerto Verde. Ajardinamiento viario fase 1," Available: https://www.puertomalaga.com/es/proyectos_iniciativa/iniciativa-puerto-verde-ajardinamiento-viario-fase-1/.
- [113] C. Vizzari *et al*, "Preliminary analysis for the urban regeneration of derelict industrial sites through Adaptive Reuse interventions: the former Stanic refinery of Bari," *Plurimondi*, (19), pp. 55-98, 2020. Available: <http://193.204.49.18/index.php/Plurimondi/article/view/171>.
- [114] J. A. Herrera and A. Lombardi, "Introductory approach to eco-hydrological urbanism: the adaptative reuse of PEMEX former refinery in Reynosa, Mexico," *International Journal of Environmental Impacts*, vol. 4, pp. 1-13, 2021. Available: <https://www.witpress.com/elibrary/ei-volumes/4/1/2739>. DOI:10.2495/EI-V4-N1-1-13
- [115] T. Way, "Landscapes of industrial excess: A thick sections approach to Gas Works Park," *Journal of Landscape Architecture*, vol. 8, (1), pp. 28-39, 2013. Available: <https://doi.org/10.1080/18626033.2013.798920>. DOI: 10.1080/18626033.2013.798920.
- [116] E. Podhajska *et al*, "Structural and parametric aspects of plant barriers as a passive method for improving urban air quality," *City and Environment Interactions*, vol. 8, pp. 100048, 2020. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590252020300295>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2020.100048>.
- [117] M. Lin, G. G. Katul and A. Khlystov, "A branch scale analytical model for predicting the vegetation collection efficiency of ultrafine particles," *Atmos. Environ.*, vol. 51, pp. 293-302, 2012. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012000076>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.01.004>.