



**METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO A PARTIR DEL
TEJIDO URBANO. APLICACIÓN EN FUENCALIENTE. LA PALMA**

Tania Rojano Padrón

Tutores: Jaime Díaz Pacheco y Abel López Díez

Grado en Geografía y Ordenación del Territorio
Trabajo de Fin de Grado

Junio, 2022

“No tendremos una sociedad si destruimos el medio ambiente”

-Margaret Mead

Resumen

Entender el proceso del cambio climático, así como el efecto invernadero y el concepto de huella de carbono enmarcado en el archipiélago canario, es de gran utilidad para el posterior cálculo de la huella de carbono (HC) basado en el tejido urbano, su población y las estructuras edificatorias de los núcleos de población del municipio de Fuencaliente en la isla de La Palma. A través de la metodología empleada se han obtenido datos de HC de tres fuentes de emisión diversas: suministro de energía eléctrica, consumo de agua potable y tratamiento de aguas residuales. Posteriormente se han recabado los resultados comparándose cada uno de ellos por núcleo de población o uso de suelo establecido. Uno de los resultados obtenidos más destacables de este estudio, es el correspondiente a la HC total en el uso turístico y en el residencial, ya que con una diferencia de 2 665 edificaciones más para el caso del uso residencial, ambos poseen una cantidad de emisiones de CO₂eq muy similar, con 7 370 t en el uso residencial y 7 279 t en el turístico.

Palabras clave: cambio climático, calentamiento global, gases de efecto invernadero, huella de carbono, usos de suelo, tejido urbano, Fuencaliente.

Abstract

Understanding the process of climate change, as well as the greenhouse effect and the concept of carbon footprint framed in the Canary archipelago, is very useful for the subsequent calculation of the carbon footprint (CF) based on the urban fabric, its population and the building structures of the population centres of the municipality of Fuencaliente on the island of La Palma. Through the methodology used, carbon footprint data were obtained from three different emission sources: electricity supply, drinking water consumption and wastewater treatment. Subsequently, the results were compiled and compared by population centre or established land use. One of the most noteworthy results obtained from this study is that corresponding to the total CF in tourist and residential use, since with a difference of 2 665 more buildings in the case of residential use, both have a very similar amount of CO₂eq emissions, with 7 370 t in residential use and 7 279 t in tourist use.

Keywords: climate change, global warming, greenhouse gases, carbon footprint, land use, urban fabric, Fuencaliente.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS	8
3. MARCO TEÓRICO	9
3.1. Cambio climático y huella de carbono	10
3.1.1. Calentamiento global, cambio climático y cambio global	10
3.1.2. Principales evidencias del cambio climático	14
3.1.3. Efecto invernadero y huella de carbono	16
3.1.4. Espacios insulares y cambio climático: las islas Canarias	19
3.2. ¿De qué manera la transformación de los usos del suelo afecta a la generación de gases de efecto invernadero (GEI)?	22
3.3. Metodologías para el cálculo de emisiones dióxido de carbono (CO ₂)	25
4. ÁMBITO DE ESTUDIO	31
4.1. La Palma. Aspectos generales	31
4.2. Fuencaliente	36
4.2.1. Marco geográfico	36
4.2.2. Descripción general y división del municipio	37
4.2.3. Demografía	41
4.2.4. Actividad económica y perspectiva de crecimiento	42
5. METODOLOGÍA Y FUENTES	44
6. RESULTADOS	51
7. CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Objetivo general y específicos.....	9
Figura 2. Componentes del sistema climático	12
Figura 3. Mayores desplazamientos climáticos del mundo entre 2008 y 2018	13
Figura 4. Diferencias entre el efecto invernadero natural y antrópico.....	16
Figura 5. Conservación de CO ₂ en el Observatorio de Mauna Loa (Hawaii).....	17
Figura 6. Factores que controlan la descomposición de la materia orgánica del suelo	24
Figura 7. Emisiones GEI según su alcance	29
Figura 8. Esquema metodológico para el cálculo de la huella de carbono derivada del consumo de energía eléctrica	30
Figura 9. Esquema metodológico para el cálculo de la huella de carbono derivada del consumo de agua potable	30
Figura 10. Esquema metodológico para el cálculo de la huella de carbono derivada del tratamiento de aguas residuales	30
Figura 11. Máximas elevaciones en la isla de La Palma a partir de los 2 000 m de altitud	32
Figura 12. Unidades topográficas de la isla de La Palma	34
Figura 13. Distribución de las edificaciones en los municipios de La Palma.....	35
Figura 14. Densidad de población en las comarcas y municipios de La Palma	36
Figura 15. Distribución de las entidades de población en Fuencaliente	38
Figura 16. Espacios Naturales Protegidos de Fuencaliente	39
Figura 17. Delimitación del Suelo Urbano No Consolidado UA - 1 Los Canarios Industrial	41
Figura 18. Número de habitantes en el municipio de Fuencaliente en los años 2011 y 2021 .	42
Figura 19. Usos de suelo en Cerca Vieja (1)	46
Figura 20. Usos de suelo en Las Indias (2).....	46
Figura 21. Usos de suelo en Los Quemados (3)	47

Figura 22. Uso de suelo en La Fajana (4)	47
Figura 23. Uso de suelo en Los Canarios (5).....	47
Figura 24. Uso de suelo en Las Caletas (6)	47
Figura 25. Distribución de la HC total por núcleo poblacional medida en kg CO ₂ eq.....	52
Figura 26. Distribución de la HC total por núcleo poblacional medida en kg CO ₂ eq.....	53
Figura 27. HC originada por el consumo de energía eléctrica por núcleo poblacional medida en kg CO ₂ eq	54
Figura 28. HC originada por el consumo de agua potable por núcleo poblacional medida en kg CO ₂ eq.....	54
Figura 29. HC originada por el tratamiento de aguas residuales por núcleo poblacional medida en kg CO ₂ eq	55
Figura 30. Distribución de la HC total por uso de suelo medida en kg CO ₂ eq	56
Figura 31. Distribución de la HC según el tipo de agua medida en kg CO ₂ eq.....	56
Figura 32. Tendencias del impacto de la HC por usos de suelo	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Entidades de población del municipio de Fuencaliente.....	37
Tabla 2. Asentamientos Rurales	40
Tabla 3. Categoría de Suelo Urbano Consolidado.....	40
Tabla 4. Delimitación del Suelo Urbano No Consolidado UA - 1 Los Canarios Industrial....	41
Tabla 5. Factores de emisión	48
Tabla 6. HC medida en kg CO ₂ eq por núcleo de población y edificaciones	51
Tabla 7. HC medida en kg CO ₂ eq por usos de suelo y edificaciones.....	51
Tabla 8. HC medida en kg CO ₂ eq por núcleo de población, usos de suelo y edificaciones....	58

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático está teniendo actualmente importantes efectos sobre el medio, modificando tanto los entornos naturales como los antropizados. De la manera en que señala el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022) «Las instituciones del mundo, los sistemas de gestión de recursos y las tecnologías no se han diseñado y desarrollado para hacer frente a un clima que cambia rápidamente». Lo mismo puede decirse de los sistemas naturales de evolución, relativamente lenta, del planeta.

De acuerdo con los modelos más importantes que tratan de estimar el incremento de la temperatura media global, principal precursor del cambio climático, aumentará durante el próximo siglo un mínimo de al menos 2°C, si bien se plantean escenarios con un mayor incremento (IPCC, 2022), por lo que la sociedad global tendrá que enfrentar importantes cambios y llevar a cabo medidas de mitigación y/o adaptación para tratar de minimizar los efectos de estos cambios ambientales. La mitigación-adaptación solo se puede lograr mediante una combinación de diferentes medios, nuevas y avanzadas tecnologías; gestión mejorada de los recursos; cambios en la política social y en el comportamiento; el desarrollo sostenible y la eficiencia energética, incluida la reducción o la eliminación del uso de combustibles fósiles. Sin duda, será necesario mejorar las estrategias de desarrollo existentes o diseñar nuevas para cada región del mundo y especialmente para las islas y archipiélagos pequeños y vulnerables como lo es la Región Macaronésica (Bramwell, 2019).

La lucha contra el cambio climático es uno de los objetivos de sostenibilidad de cada ciudad a largo plazo, y pese a ser un problema global, debe entenderse como una cuestión multiescalar y multisectorial. Este aspecto se encuentra reflejado en los documentos de consenso internacional, que se han desarrollado de una manera creciente en las últimas décadas hasta la actualidad. Unos ejemplos son los siguientes: el Acuerdo de París o el Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres, ambos del año 2015. Estos documentos plantean cuestiones globales y propuestas de acción que suelen estar dirigidas a los países, pero, en última instancia, son las entidades locales las que, en gran medida, deben implementar acciones de mitigación y adaptación de manera directa (López *et al.*, 2016).

Entre las medidas que implementan las entidades locales, una de las fundamentales cuando inician acciones de mitigación-adaptación, es conocer, a través de un diagnóstico, cuál

es la huella de carbono de distintos sectores de actividad, para en base a los resultados, obtener indicadores que le permitan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs), y específicamente de CO₂. De esta manera, y dentro de esta línea de trabajo, este proyecto tiene el objetivo de adaptar e implementar una metodología de cálculo de la huella de carbono basado en el tejido urbano, que pueda incluso tener futura aplicación en ejercicios de planificación territorial. Para ello, se ha realizado un ejercicio de aplicación en Fuencaliente, seleccionado como laboratorio experimental, por dos motivos. En primer lugar, porque se encuentra en proceso de desarrollo de su plan general de ordenación, lo cual ha permitido obtener información y datos actualizados, y, en segundo lugar, porque se trata de un municipio donde los núcleos de población, se encuentran en general, bastante bien diferenciados y tienen unas dimensiones y densidades muy abordables desde el punto de vista de su utilización como objeto territorial de esta prueba piloto y experimental.

2. OBJETIVOS

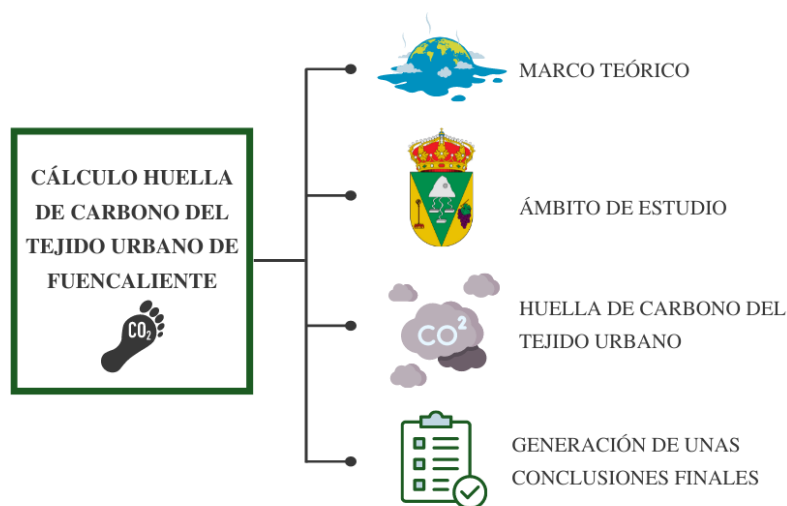
El objetivo general que enmarca el presente trabajo es el cálculo de la huella de carbono basado en el tejido urbano, su población y las estructuras edificatorias de los núcleos de población del municipio de Fuencaliente en la isla de La Palma.

De este modo, con la finalidad de satisfacer el objetivo anteriormente mencionado, se establecen los siguientes objetivos específicos:

1. Elaboración de un marco teórico que contextualice dicho trabajo apoyado en una revisión bibliográfica relativa a los conceptos de cambio climático, efecto invernadero y huella de carbono, profundizando especialmente en el fenómeno del cambio climático enmarcado en el territorio canario. De la misma manera que se ha contrastado información referente al impacto que tienen los diferentes usos de suelo en la emisión de CO₂, así como en la metodología utilizada para el posterior cálculo de la huella de carbono.
2. Caracterización del ámbito de estudio y su correspondiente diagnóstico, elaborado desde aspectos insulares generales hasta el estudio más exhaustivo del municipio de Fuencaliente.

3. Cálculo de la huella de carbono del tejido urbano del área de Fuencaliente.
4. Generación de unas conclusiones finales.

Figura 1. Objetivo general y específicos



Fuente: Elaboración propia, 2022

3. MARCO TEÓRICO

Los primeros registros sobre la relación entre las acciones de los seres humanos y las consecuencias en los ecosistemas que estas podrían acarrear fueron publicados en 1864 por George Perkins (Espíndola & Valderrama, 2018). A raíz de la Revolución Industrial se produce, sobre todo en áreas urbanas, un exponencial aumento de gases de efecto invernadero (GEI) que intensifican en gran medida el calentamiento global. Es por ello que el marco teórico se ha estructurado en los siguientes 3 ejes: 1) Cambio climático y huella de carbono, 2) Usos de suelo y generación de GEI y 3) Metodologías para el cálculo de la HC.

3.1. Cambio climático y huella de carbono

3.1.1. Calentamiento global, cambio climático y cambio global

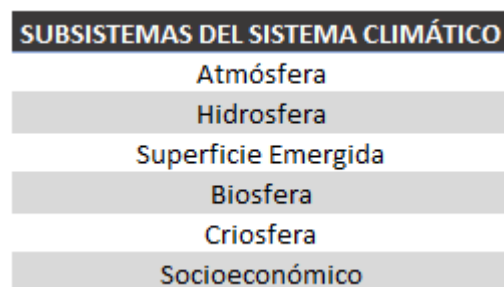
Desde que el premio Nobel Svante Arrhenius en 1896 relacionara CO₂ y temperatura numerosos han sido los progresos en materia climática. No obstante, no sería hasta 1950 cuando el interés por los asuntos relacionados con el clima experimentase un rápido desarrollo (Olcina & Vide, 1999). Esto estuvo motivado fundamentalmente por los grandes avances en la ciencia atmosférica básica tras la II Guerra Mundial —con el descubrimiento del Jet Stream—, el desarrollo tecnológico —con el primer satélite meteorológico Tiros-1, los primeros ordenadores digitales, etc.—, la aparición de las primeras mediciones de CO₂ en Mauna Loa (Hawaii) realizadas por Charles Keeling en 1958 y, finalmente, por el interés que el clima despertó en la comunidad internacional representada por una entidad como Naciones Unidas. Esta voluntad internacional dio lugar a que en 1961 se creara el programa de Vigilancia Meteorológica Mundial, que tenía entre sus objetivos “describir y vigilar el clima”. A su vez, en la década de los años 70 se empiezan a consolidar conceptualmente conceptos como “calentamiento global” a partir de los trabajos de Budyko (1972), Sawyer (1972) y Charney (1979) o “cambio climático” con referencias como las de Breocker (1975), donde se empleó por primera vez dicho término asociado a los efectos que estaba produciendo el calentamiento global. Todas estas evidencias científicas dieron lugar a que la Organización Mundial Meteorológica, en 1974, crease un grupo de expertos con la finalidad de estudiar los cambios que se estaban produciendo en el clima, dando lugar a la publicación del conocido como “Informe de Gibbs” en 1975, un documento que motivó el desarrollo de la primera Conferencia Mundial sobre el Clima en 1979 en la que se confirma el calentamiento global como consecuencia de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera. Es a partir de este momento cuando se empiezan a crear las bases para la creación, en 1988, del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Este Grupo Intergubernamental surge con el objetivo de aumentar los esfuerzos en investigación y en desarrollar acciones para reducir la contaminación atmosférica. En base a dichos objetivos, en 1990 se celebra la Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima, donde se publica el primer Informe del IPCC y donde se establece el funcionamiento y normas de las Convenciones Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En este sentido, en 1992 en Nueva York, se aprueba la CMNUCC en cuyo Artículo 2 se refleja la principal línea de acción de dicha entidad «lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero

en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático» en un plazo «que permitan a los ecosistemas adaptarse naturalmente al cambio climático, asegure que la producción de alimentos no se vea amenazada y permita que el desarrollo económico continúe de manera sostenible». Asimismo, en esta primera CMNUCC se define el concepto de cambio climático de forma institucional. Un concepto que sigue vigente y que se recoge en el Sexto Informe del IPCC (2022).

«Variación del estado del clima identificable —por ejemplo, mediante pruebas estadísticas— en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su Artículo 1, define el cambio climático como cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables».

Del mismo modo, un concepto de gran relevancia vinculado al de cambio climático es el de sistema climático. Autores como Martín-Vide (2009) lo definen como «un sistema complejo constituido por cinco subsistemas entre los cuales existen numerosos flujos de materia y energía. Dichos subsistemas (Figura 2) son: la atmósfera, la hidrosfera —en mayor medida el océano—, la superficie emergida, la biosfera —principalmente la vegetación— y la criosfera —nieve y capas de hielo—». Incluso asociado a los cambios producidos tanto en los usos de suelo como en los sistemas productivos se ha provocado la alteración del funcionamiento habitual de los cinco subsistemas anteriores y es por lo que Martín-Vide (2008 y 2009) habla de la necesidad de incorporar un sexto componente: el subsistema socioeconómico.

Figura 2. Componentes del sistema climático



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos de Martín Vide, 2009

Desde 1990 el IPCC ha elaborado un total de seis informes de evaluación sobre el cambio climático, actualizando y ampliando la información y comprensión del fenómeno. De esta forma con cada publicación se ha ido reafirmando la idea de que la causa origen del calentamiento global está asociado a la clara influencia humana en el sistema climático global. Hasta tal punto que en los dos últimos informes se afirma que «es inequívoco que la influencia humana ha calentado la atmósfera, el océano y la tierra. Dando lugar a que se hayan producido cambios generalizados y rápidos en la atmósfera, el océano, la criosfera y la biosfera». (IPCC, 2021). Esta influencia humana es especialmente importante a partir de la Revolución Industrial donde el cambio de la energía hidráulica por el carbón y el posterior uso del petróleo dieron lugar a que se multiplicarán de forma notoria las emisiones de GEI (López-Díez, 2021), ocasionando el conocido calentamiento global. Un concepto que el IPCC (2021) define como:

«Aumento estimado de la temperatura media global en superficie promedia durante un período de 30 años, o durante el período de 30 años centrado en un año o decenio particular, expresado en relación con los niveles preindustriales».

Por tanto, una vez definidos los conceptos de cambio climático y calentamiento global se pueden extraer una serie de conclusiones. El término calentamiento global hace referencia únicamente al calentamiento global del planeta sobre la base de la temperatura media en toda la superficie de la Tierra, un valor que en la actualidad se sitúa en 1,1°C (IPCC, 2021). Sin embargo, el cambio climático es un fenómeno más amplio que hace referencia no únicamente al incremento térmico sino a todos los cambios producidos en cada uno de los elementos climáticos —precipitaciones, humedad, viento, etc.—, así como en la variabilidad de los

fenómenos meteorológicos extremos durante períodos de tiempo prolongados. Por ello, conviene destacar cómo el calentamiento global se encuentra integrado en el término cambio climático, que, a su vez, se integra en un término más actual: cambio global (Brown, 2015). Este concepto, además de estar propiciado por el cambio climático, presenta una perspectiva mucho más amplia, refiriéndose también a los grandes procesos de transformación que se están produciendo en la biosfera; tales como la degradación de los ecosistemas, los efectos sobre la salud, las migraciones climáticas (Figura 3), la seguridad alimentaria, etc. (López-Díez 2021).

Figura 3. Mayores desplazamientos climáticos del mundo entre 2008 y 2018



Fuente: Oxfam, 2021

Finalmente, como cierre a este apartado conviene introducir dos conceptos esenciales tanto para la meteorología como la climatología, tiempo y clima. Ambos conceptos se refieren a condiciones locales de temperatura, precipitación en un lugar o región determinada. Sin embargo, la principal diferencia es la escala temporal (Jumilla, 2021).

El tiempo se refiere al estado de la atmósfera en un momento determinado, ya sean horas o días, mientras que el clima se refiere a largos periodos como pueden ser largas décadas. Así pues, el tiempo que hace en un lugar puede cambiar con relativa rapidez en días e incluso en horas. El clima, sin embargo, suele ser menos variable pero puede cambiar en largos periodos de tiempo. De hecho, el clima ha sufrido cambios importantes a lo largo de la historia de la Tierra, debido a causas naturales. Por ejemplo, en el último periodo glaciario, que finalizó

hace unos 10 000 años, el clima terrestre era más frío que el actual y los glaciares ocupaban amplias extensiones de la superficie. Sin embargo, el actual cambio climático es muy diferente a otros cambios anteriores, fundamentalmente por dos motivos (Bramwell, 2019):

1. Causas. La causa del actual cambio climático es la emisión de los denominados Gases de Efecto Invernadero (GEI) como resultado de la actividad antrópica. Estos gases, incrementan la capacidad de la atmósfera terrestre para retener calor, dando lugar al fenómeno del calentamiento global.
2. Velocidad. Este cambio de las condiciones climáticas está ocurriendo muy rápidamente, lo que hace muy difícil, tanto para la naturaleza como para las sociedades, adaptarse a las nuevas condiciones.

3.1.2. Principales evidencias del cambio climático

Como se ha mencionado las variaciones y cambios climáticos se han producido siempre a lo largo de la historia del planeta, pero cuando habla de cambio climático se hace en referencia a algo mucho más general y duradero en el tiempo, que no responde a ciclos y que muestra tendencias con grandes transformaciones en el sistema climático. El actual cambio climático es, por tanto, general y con una tendencia clara mantenida en el tiempo. A continuación, se exponen los principales cambios registrados en los parámetros físicos más importantes.

El elemento climático que muestra una tendencia más clara es la temperatura, con un incremento continuo y patente en las últimas décadas (IPCC, 2021). No obstante, ese ascenso térmico no se produce de igual manera en todo el planeta, siendo más importante en latitudes altas y en el interior de los continentes. Además, el aumento térmico de la troposfera se traduce también en un calentamiento oceánico, aunque menor que el continental. Aproximadamente la mitad. En los continentes el incremento es de casi 1°C, mientras que en la superficie oceánica no llega a 0,5°C (IPCC, 2019). También, el ascenso de las temperaturas tiene consecuencias directas sobre aspectos hídricos. El más visible de todos ellos es la desaparición de la mayor parte de los glaciares del planeta. Además, la alteración térmica también ha implicado la alteración pluviométrica y, por tanto, incluso la hídrica e hidrológica.

Aunque los cambios en la lluvia son más difíciles de evaluar que los térmicos, existen determinadas evidencias que conviene remarcar. De forma muy general según lo recogido en

el Sexto Informe del IPCC (2021 y 2022), se ha registrado un aumento de la lluvia en buena parte de América del Norte, amplios sectores de América del Sur y también de Europa septentrional y central. Sin embargo, las precipitaciones en gran parte del continente africano, sobre todo el Sahel, y extensas regiones de rasgos mediterráneos —cuenca mediterránea, centro de Chile, zonas de Australia y California— se han visto reducidas. Asimismo, en el futuro, en un planeta más cálido donde existe una mayor evaporación es previsible un aumento en los totales pluviométricos de múltiples territorios. Sin embargo, esto último no significa que se vaya a dar una mayor disponibilidad hídrica, ya que como apuntan múltiples estudios los episodios de precipitación extrema serán más intensos y frecuentes (Levy *et al.*, 2016).

Por otro lado, el aumento de las temperaturas oceánicas junto con la fusión de los glaciares continentales está haciendo aumentar el nivel medio del mar. Hasta ahora la mayor parte del ascenso está relacionado con la expansión térmica pero paulatinamente se está incorporando un mayor volumen de agua procedente de la criosfera (IPCC, 2021). Esto ha provocado que en el último siglo el nivel del mar haya aumentado unos 20 cm, a un ritmo aproximado de 3,6 mm anuales. Además, este ascenso del nivel del mar continuará sin pausa durante las próximas décadas, siendo previsible que a finales de siglo se sitúe en torno a 1 metro.

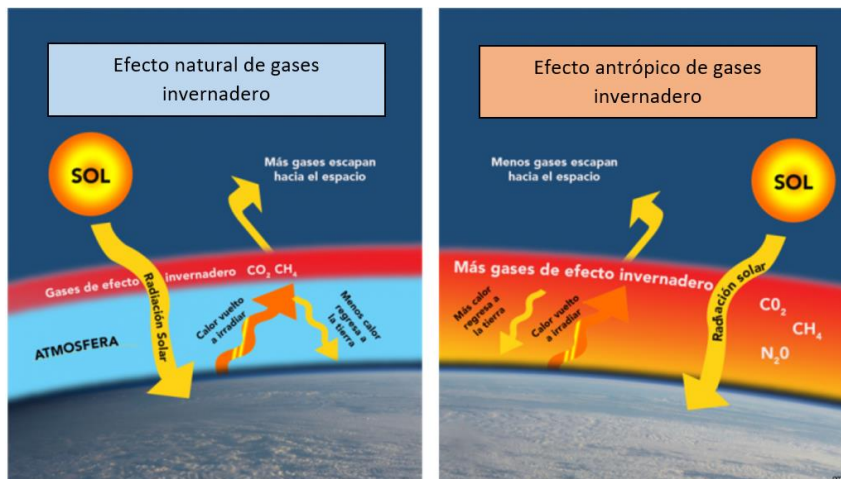
Además de los ya citados cambios en elementos como las temperaturas, precipitaciones o el incremento del nivel del mar, el cambio climático está modificando la variabilidad de los fenómenos meteorológicos extremos (IPCC, 2022). La tendencia de las temperaturas a escala global está dando lugar a que los episodios de calor extremo se incrementen, mientras que los de frío disminuyan. En consecuencia, son las olas de calor las que ya están volviéndose más extremas siendo la amenaza más claramente relacionada con el cambio climático y cuyos impactos también se relacionan con la producción agrícola, la salud humana o el aumento de los incendios forestales. En relación a las precipitaciones, todos los modelos apuntan a que las lluvias con efecto de inundación se incrementarán (IPCC, 2022). Tanto las avenidas súbitas propias de los cursos de agua de pequeñas dimensiones en espacios áridos y semiáridos como las crecidas en los grandes cursos fluviales. En el otro extremo asociado al déficit de precipitación, las sequías también se verán afectadas, tanto en su frecuencia como intensidad, por el calentamiento térmico global. Finalmente, como síntesis de los principales impactos conviene hacer referencia al incremento del nivel del mar, que dará lugar a que los temporales puedan ser más violentos que en la actualidad y, además, con un nivel marino superior es

previsible que éstos llegaran a alcanzar espacios que jamás habían sido afectados con anterioridad.

3.1.3. Efecto invernadero y huella de carbono

La temperatura media planetaria es el producto del balance energético del planeta entre la radiación solar (onda corta) y la radiación infrarroja (onda larga), emitida por la superficie de la tierra. Sin embargo, actualmente el balance energético está descompensado debido al aumento de la concentración atmosférica de los GEI. En este proceso de intercambio continuo, los GEI son capaces de absorber parte de la emisión terrestre. Dicho proceso de absorción y reemisión nuevamente a la superficie terrestre da lugar a lo que se conoce como efecto invernadero (Figura 4), un proceso natural el cual es responsable de que la temperatura media global sea de 15°C, muy superior a la de -19°C que tendríamos sin este fenómeno (López-Díez, 2020). Un hecho importante es que, el 1% de los gases que componen la atmósfera se consideran GEI, siendo los tres más importantes y cuyas concentraciones se pueden aún regular el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) (Jumilla, 2021).

Figura 4. Diferencias entre el efecto invernadero natural y antrópico

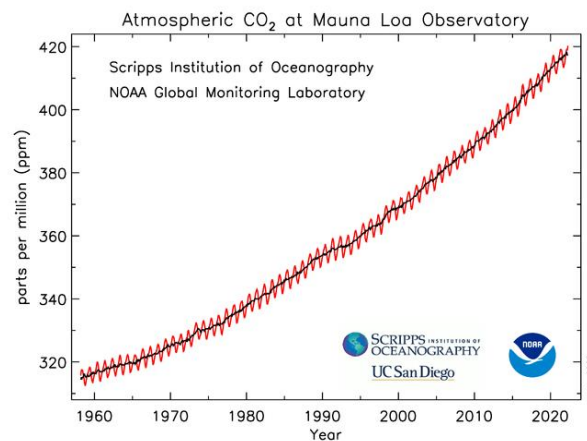


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos de Branwell, 2019

En este marco los GEI se comportan en la actualidad como uno de los principales forzamientos del sistema climático. Siendo capaces de modificar plenamente el balance energético y, por ende, el clima del planeta tal y como pasa con dos forzamientos de origen

natural como la actividad solar y las erupciones volcánicas (Stenchikov, 2021). Por ello, el aumento de las concentraciones de GEI como el CO₂ y CH₄ como consecuencia directa de la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo o el gas ha derivado que, desde la Revolución Industrial, la concentración de CO₂ ha aumentado en más del 45%, siendo de 280 ppm (partes por millón) a finales del siglo XVIII hasta las 421 ppm que se registraron en 2021 en observatorios como el de Mauna Loa (Figura 5). Este incremento aún es mayor en otros gases con una capacidad radiactiva mucho mayor que el CO₂, como es el caso del CH₄ cuyas concentraciones desde finales del siglo XVIII han aumentado en más de un 150% (IPCC, 2021).

Figura 5. Conservación de CO₂ en el Observatorio de Mauna Loa (Hawaii)



Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2021

Uno de los objetivos del presente trabajo se fundamenta en la cuantificación de los efectos de los GEI, principales causantes del calentamiento global y del cambio climático. Para ello se utiliza el concepto de la huella de carbono (HC). El término HC tiene su raíz en la huella ecológica (HE) definida por Wackernagel y Rees en 1996 y fue establecida por primera vez en el año 2003. Desde ese momento, comienzan a aparecer los primeros trabajos e informes técnicos empleando el concepto de HC, como indicador de las emisiones de GEI expresadas en CO₂ equivalentes (CO₂eq), alcanzando la relevancia y popularización que hoy en día se le proporciona a este indicador (Espíndola & Valderrama, 2018).

No obstante, la HC surge sin un concepto claro ni una metodología definida, lo que ha posibilitado que surjan diferentes interpretaciones del indicador (Espíndola & Valderrama,

2018)). Una de estas diferencias se relaciona con los gases incluidos en el análisis. Algunos estudios optan porque la HC incluya varios gases de efecto invernadero, expresando dicha huella en toneladas (t) equivalentes (eq) de CO₂. Sin embargo, otros prefieren limitarse exclusivamente a un único gas, el CO₂. Los GEI considerados usualmente son los establecidos en el Protocolo de Kioto del año 1997 y tienen en cuenta los siguientes: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), hidrocarburos perfluorados (PFC), y hexafluoruro de azufre (SF₆). Esto no significa que no haya otros gases contaminantes, pero éstos son los criterios actuales; incluso hay criterios de cálculo que no consideran todos estos gases, y esto es también parte del debate (Espíndola & Valderrama, 2018).

Contribución de cada gas al efecto invernadero:

- **DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂).** Es el principal gas de efecto invernadero. Aunque otros gases son capaces de retener más calor —como el CH₄—, el CO₂ debido a su abundancia, es responsable del 76% del efecto invernadero inducido por las actividades humanas.
- **METANO (CH₄).** Se libera cuando la materia orgánica se descompone en los vertederos y también como resultado de la actividad ganadera. Siendo responsable del 16% del efecto invernadero.
- **ÓXIDO NITROSO (N₂O).** Causante del 6% del efecto invernadero, su potencial para el calentamiento es unas 300 veces mayor que el del CO₂ pero su concentración en la atmósfera es mucho menor.
- **HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF₆).** Aproximadamente es responsable de menos del 2% del efecto invernadero inducido por la actividad humana, aunque se trata del gas con mayor capacidad radiactiva de los presentes en la atmósfera.

Finalmente, conviene citar que uno de los principales obstáculos para avanzar en la implantación de la HC como parámetro de medición del nivel de contaminación de un proceso productivo, de un producto o de un servicio, es la incertidumbre respecto a su cálculo y la discusión sobre los factores que deben considerarse en su determinación. Las diversas

interpretaciones del concepto de este término han llevado al desarrollo de metodologías de cálculo muy diferentes que se extrapolan a algunos de los trabajos citados durante el presente informe (Espíndola & Valderrama, 2018).

3.1.4. Espacios insulares y cambio climático: las islas Canarias

Las islas en el mundo cubren aproximadamente el 5% de la superficie terrestre de la Tierra, pero poseen más del 35% de las plantas del planeta, incluidas unas 50 000 especies endémicas. Al mismo tiempo, alrededor del 15% de los mamíferos, anfibios y aves del mundo tienen una distribución exclusivamente insular y el 35% de todas las aves amenazadas son endémicas de islas, lo que hace que éstas sean extremadamente importantes para la conservación de la biodiversidad. De hecho, de los 34 puntos críticos de biodiversidad reconocidos en el ámbito internacional, 14 son islas, archipiélagos insulares o tienen un importante componente insular, y otros 6 incluyen islas costeras dentro de sus límites. La diversidad biológica de los ecosistemas insulares se encuentra entre los más amenazados del mundo, debido a su pequeño tamaño, aislamiento y fragilidad (López-Díez *et al.*, 2016; IPCC, 2022). Los rasgos citados anteriormente no son ajenos para las islas Canarias, que cuenta con más de 4 000 endemismos (Arachavaleta *et al.*, 2010) lo que sitúa al archipiélago en una de las áreas con mayor biodiversidad de Europa (Fernández-Palacios *et al.*, 2011). Por todo ello, el cambio climático amenaza la biodiversidad insular que afronta múltiples impactos asociados a la variabilidad climática, como el aumento del nivel del mar, la pérdida de hábitat y una mayor competencia de especies exóticas (Bramwell, 2019).

A nivel global, como ya se ha analizado en apartados anteriores, el cambio climático está produciendo cambios significativos en múltiples elementos climáticos, un hecho que es extrapolable a las islas Canarias (Dorta *et al.*, 2018). Actualmente se cuenta con importantes evidencias que corroboran cambios relevantes en algunos de los elementos del clima más característicos, sobre todo la temperatura, que manifiesta un nítido ascenso (Luque *et al.*, 2014) y la precipitación, en menor medida, con un descenso poco significativo (Máyer *et al.*, 2017). Respecto a las temperaturas se ha constatado un importante ascenso en los sectores de medianía y alta montaña, acorde a lo que se está produciendo en otros archipiélagos de características similares (IPCC, 2022). Del mismo modo, el rasgo más significativo de las temperaturas es el incremento de los valores mínimos diarios, lo que se traduce en que las noches están siendo cada vez más cálidas. En lo que respecta a las precipitaciones, su comportamiento, aunque mucho más difícil de estudiar, comienza a presentar algunas conclusiones. En primer lugar,

como se manifiesta con anterioridad, se ha evidenciado un ligero descenso de la precipitación en las últimas décadas, un hecho que además podría explicar en gran medida que los inviernos más secos en Canarias se ubiquen en la última década del siglo XX y comienzos del siglo XXI (Dorta *et al.*, 2018). Asimismo este incremento en el número de sequías también se justifica por un aumento constatado en la torrencialidad de la lluvia durante las últimas décadas en las islas (López-Díez *et al.*, 2019), lo que está produciendo que la disponibilidad hídrica sea menor.

Respecto al viento, se observa un aumento significativo de los vientos alisios (Cropper y Hanna, 2014), lo que puede conllevar cambios en la altitud del manto de estratocúmulos en las islas con mayor relieve. Del mismo modo respecto a las intrusiones de polvo en suspensión, en las últimas décadas los estudios apuntan a un aumento en la intensidad de las mismas (Alonso *et al.*, 2011). Finalmente, en lo que respecta al incremento del nivel del mar, desde 1927 el ascenso del nivel del mar ha sido de 2,09 mm/año (Marcos *et al.*, 2013) aunque otros trabajos apuntan que este incremento estaría más próximo a 4 mm/año (Pérez *et al.*, 2014), lo que se traduciría en un incremento de 4 cm por década, pudiéndose estimar que desde los años noventa el nivel del mar se ha elevado en Canarias entre 5 y 10 cm.

Como se ha expuesto anteriormente, es evidente que se están produciendo cambios en determinados rasgos del clima canario. No obstante, los citados cambios no han sido las únicas modificaciones vinculadas con el cambio climático en las islas. La variabilidad de los fenómenos meteorológicos extremos son, sin duda, uno de los elementos más importantes a la hora de caracterizar el cambio climático. En este sentido y pese a la enorme dificultad para establecer tendencias de hechos puntuales, el IPCC (2022) apunta a la posible correlación entre el calentamiento global y el incremento de la intensidad o frecuencia de estos fenómenos. Este hecho es extrapolable a las islas Canarias donde se evidencia un aumento considerable en el número de episodios de olas de calor (AEMET, 2015), algunas de las cuales han dado lugar a importantes récords de temperaturas en los últimos años. Del mismo modo este incremento en las olas de calor, que se vincula al probable aumento en la frecuencia de advecciones de aire sahariano (Cropper y Hanna, 2014) tiene como consecuencia directa el incremento en un riesgo de gran relevancia para las islas como los incendios forestales.

En lo que respecta a las precipitaciones, el aumento de la torrencialidad (Máyer *et al.*, 2017; López-Díez *et al.*, 2019) ha dado lugar a numerosos episodios de precipitaciones extremas en el siglo XXI. Muchas estaciones como es el caso de Santa Cruz de Tenerife han visto como entre 1996 y 2016 se han dado cuatro episodios torrenciales con los dos valores

más elevados de la serie, frente a solo tres episodios entre 1938 y 1995 (Dorta *et al.*, 2018). Este ejemplo, extrapolable a otros sectores del archipiélago, e incluso de regiones próximas como Madeira (Fragoso *et al.*, 2012) empieza a corresponderse con los escenarios proyectados por el IPCC (2022) para la región, donde se prevé un cambio importante en el régimen de precipitaciones tanto por su descenso como por su modificación en el cómo llueve y cuándo llueve. Observándose respecto a esto último una tendencia hacia el aumento de las precipitaciones estivales en Canarias (López-Díez, 2020) un hecho que junto al incremento de las aguas oceánicas en este sector (Guijarro *et al.*, 2014) podría estar indicando una tendencia hacia la tropicalización del clima de las islas. En consonancia con esto último, los fenómenos de origen tropical son los eventos extremos de origen climático más importante que afrontarán las islas en los próximos años. Actualmente, se predice un futuro con una probable presencia de eventos como tormentas tropicales y huracanes, los cuales están experimentando una aproximación de sus trayectorias hacia aguas canarias (Dorta *et al.*, 2021).

Además, el incremento del nivel del mar producido en las islas Canarias podría justificar el aumento de temporales marinos en los últimos años (Yanes *et al.*, 2021). De este modo, ante el previsible aumento del nivel del mar en Canarias para 2100 donde los aumentos estimados varían entre los 50 y 100 cm (Straus *et al.*, 2015) auguran un incremento en la peligrosidad y por ende del riesgo de sectores litorales ya bastante vulnerables como puede ser la costa de Garachico.

Finalmente, y dada la temática del presente trabajo, conviene hacer una mención especial a los registros de CO₂ del observatorio de Izaña dada la importancia que tienen para caracterizar el fenómeno del calentamiento global a nivel internacional. En este sentido, una de las últimas mediciones publicadas por el programa de medidas de gases de efecto invernadero del Observatorio Atmosférico de Izaña (IZO) cifra la concentración de CO₂ en mayo de 2021 en 419,7 partes por millón (ppm), una cifra similar a las 419,1 ppm registradas por el observatorio de Mauna Loa en Hawaii, (AEMET, 2021). Esta correlación explica que no se trata por tanto de un fenómeno local, sino que presenta un carácter meramente global. Es por ello que, aunque las islas Canarias vieran reducidas sus contribuciones de GEI a cero en los próximos años las cuales apenas representan el 0,07% del total mundial, sin un acuerdo internacional que reduzca las emisiones de forma considerable, los impactos del cambio climático citados con anterioridad seguirán produciéndose en las islas durante las próximas décadas.

3.2. ¿De qué manera la transformación de los usos del suelo afecta a la generación de gases de efecto invernadero (GEI)?

Según expone Francisco J. García, 2019, la integración de la adaptación al cambio climático en la planificación de los usos del suelo, así como la evaluación de este proceso, se han situado de forma preferente en los ámbitos de gestión de las ciudades y en las políticas urbanas.

Aunque las personas se han estado adaptando a sus entornos a lo largo de la historia, el cambio climático presenta desafíos nuevos y únicos que amenazan vidas y medios de sustento. La mayor parte de la población mundial vive actualmente en áreas urbanas. Las ciudades concentran una gran parte de la economía y el consumo de recursos, hasta tal punto que alrededor del 75% de la producción económica mundial tiene lugar en áreas urbanas. Esto se traduce en que las ciudades son responsables del 67% del consumo total de energía mundial y de más del 70% de las emisiones de GEI (IPCC, 2022), mientras que únicamente representan el 2% de la superficie terrestre, sin embargo, albergan más de la mitad de la población mundial. Estas cifras en territorios como Europa son aún mayores, casi el 75% de los europeos viven en ciudades y áreas urbanas. Del mismo modo, en las islas Canarias este porcentaje es aún más alto. La densidad de población de las islas es de 257 habitantes por km², muy superior a la de España, 86 habitantes por km². Asimismo, la población presenta un carácter plenamente urbano, de cada 100 habitantes de Canarias, más de 80 viven en las áreas urbanas (ISTAC, 2021).

El crecimiento urbano, ha producido, en algunos casos, graves problemas sociales y medioambientales, como la pobreza urbana, diversas formas de polución y vulnerabilidad a los fenómenos naturales y los efectos del cambio climático. Aunque el cambio climático es un problema global, cada vez más se considera que los ámbitos locales representados por los municipios tienen un papel diferenciador en la agenda climática en términos de mitigación y adaptación (López-Díez *et al.*, 2016). Muchos riesgos derivados del cambio climático se concentrarán en las zonas urbanas (IPCC, 2022), por ejemplo, el estrés térmico, la precipitación extrema, las inundaciones continentales y costeras, la contaminación del aire, la sequía y escasez de agua. Todos ellos plantean riesgos en las zonas urbanas cuya gestión a través de las políticas de mitigación y adaptación se conforman como claves para reducir dichos impactos.

Como se recoge en el Quinto y Sexto Informe del IPCC (2014, 2022) los cambios en los usos del suelo han contribuido de manera importante al incremento de GEI en la atmósfera, especialmente de CO₂, aumentando sus emisiones desde 1970 en un 80%. Estas transformaciones en los suelos causan en primer lugar la alteración de los mismos provocando un impacto sobre el ciclo del carbono, aumentando las tasas de descomposición de la fracción orgánica creando así un flujo de CO₂ a la atmósfera. En segundo lugar, estos cambios introducidos por la acción humana suponen en múltiples ocasiones la transformación total del suelo, incorporando nuevas actividades sobre ellos que conllevan la producción de GEI. Es por ello que, entre las recomendaciones del IPCC, y contemplado en el Protocolo de Kyoto y en el reciente Acuerdo de París, se encuentra el proceso de secuestro o captación de carbono en suelos, que implica la eliminación del CO₂ atmosférico por parte de las plantas y su almacenamiento como materia orgánica del suelo. Para poder favorecer dicho proceso es fundamental conocer cuáles son los factores que gobiernan la respiración del suelo y el impacto que tienen los diferentes usos en la emisión de CO₂ (Mendiaria, 2012).

a) Respiración del suelo:

La descomposición terrestre es un proceso de degradación físico-química de la materia orgánica del suelo (MOS) proveniente de restos de plantas, animales y material microbiano. Este proceso causa un descenso en el contenido de detritos conforme los materiales son transformados a CO₂ y nutrientes inorgánicos, que podrán ser utilizados para producción vegetal y microbiológica del sistema.

El dióxido de carbono generado se almacena en el espacio poroso del suelo y se va liberando, en mayor o menor medida, desde la superficie del suelo hacia la atmósfera mediante un proceso de difusión entre zonas del suelo con diferente concentración. Este proceso de descomposición de la MOS está controlado por una serie de factores que se recogen en la Figura 6 (Mendiaria, 2012):

Figura 6. Factores que controlan la descomposición de la materia orgánica del suelo



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos de Mendiaria, 2012

Por tanto, las consecuencias de la descomposición son, por un lado, la mineralización de la materia orgánica, por lo que se producen compuestos inorgánicos —nutrientes minerales, agua y dióxido de carbono—; por otro lado, la transformación de materia orgánica en componentes orgánicos recalcitrantes y, por último; la emisión de CO₂ (Mendiaria, 2012).

b) Impacto de los diferentes usos de suelo en la emisión de CO₂:

El impacto de la morfología urbana en la emisión de GEI es uno de los temas clave en el cambio climático. Así pues, es necesario conocer la relación entre las emisiones de carbono y los diferentes usos del suelo (Wangy, Han & Bauke de vries, 2019). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) afirma que los primeros 30 cm del suelo del planeta contienen prácticamente el doble de carbono que el que existe en toda la atmósfera. Después de los océanos, el suelo es el segundo sumidero de carbono natural más

grande, y sobrepasa la capacidad de los bosques y otros tipos de vegetación para capturar CO₂ del aire. Sin embargo, si se antropizan dichos suelos y se pierde esta capacidad de retener CO₂, se estaría contribuyendo a una mayor emisión de este gas de efecto invernadero.

En cuanto al suelo como recurso transformable para la planificación y no desde el punto de vista ecológico, cabe señalar que, cuando se produce una urbanización del suelo se originan diferentes grados de impactos ambientales según los usos de suelo establecidos (Mariel *et.al*, 2019). En lo que respecta a los asentamientos urbanos, para el buen funcionamiento de dichas áreas, se requiere fundamentalmente agua, alimentos y energía para sostener los procesos que ocurren en ella, de este modo, como resultado del consumo o transformación de bienes y servicios, las ciudades generan copiosas cantidades de residuos que afectan directamente a la atmósfera, así como a los ecosistemas locales y más distantes. Dentro de los asentamientos urbanos, la actividad industrial es una de las que genera mayores impactos ambientales, ocasionando grandes generaciones de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, con la consiguiente contaminación del suelo, hídrica y atmosférica (Aristizábal-Alzate *et. al*, 2020). Por otro lado, en lo que respecta al transporte, se encuentra directamente relacionado con diversos problemas ambientales entre los que se encuentran: la emisión de contaminantes atmosféricos, la generación de residuos y la contaminación acústica. En síntesis, las actividades relacionadas con el transporte suelen representar la fuente más importante de contaminación de la atmósfera en los grandes asentamientos urbanos (Semarnat, 2008).

Así pues, es preciso señalar como los suelos y los ecosistemas terrestres más sanos, y, por ende, menos urbanizados, podrían capturar y almacenar más CO₂ de la atmósfera de lo que lo hacen actualmente. El suelo por sí solo no puede solucionar el cambio climático, pero es un factor muy importante a tener en cuenta a la hora de planificar estrategias de mitigación (AEMA, 2021).

3.3. Metodologías para el cálculo de emisiones dióxido de carbono (CO₂)

Son múltiples los marcos institucionales que abordan la necesidad de cuantificar las emisiones de CO₂ como forma de promover las acciones de mitigación. El conocido Acuerdo de París que tiene como objetivo limitar la temperatura a 1,5°C en varios de sus artículos (Art. 2,4,5,6,7 y 10) acomete la necesidad de promover una gestión sostenible del territorio que

garantice la reducción de GEI. En esta misma línea se muestran varias normativas europeas, como la Ley del Clima Europea (2021) o el Pacto Verde Europeo, iniciativas que quieren lograr la neutralidad de emisiones de CO₂, mediante el desarrollo de propuestas que permitan cumplir una reducción de hasta -55% de CO₂ en 2050. En el ámbito nacional tanto la Ley 7/2021 de 20 de mayo de Cambio Climático y Transición Energética, como el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2020) abogan por alcanzar una reducción de emisiones de CO₂ de hasta un -23%. Del mismo modo los citados documentos persiguen integrar las estrategias de adaptación al cambio climático y mitigación en la planificación territorial y urbana. De esta forma se persiguen fundamentalmente tres hechos. En primer lugar, constituir áreas de bajas emisiones en los territorios insulares como Canarias y espacios urbanos de más de 50 000 habitantes. En segundo lugar, ambos documentos remarcan la necesidad de impulsar una ordenación del territorio sostenible. Finalmente, en tercer lugar, se insta a una adecuada ordenación de los usos de suelo. En este sentido, tal y como se indica en el artículo 20 de la Ley, cualquier nueva formulación, adaptación o revisión de los planes directores sectoriales, los planes territoriales insulares y los instrumentos de planeamiento municipal, así como cualquier otro plan sometido a evaluación ambiental estratégica, tienen que incorporar la perspectiva climática en el proceso de evaluación ambiental. Esto se traduce en que, los nuevos planeamientos urbanísticos tienen que incluir una cuantificación de las emisiones de GEI que se producirán durante su vida útil, además de las posibles medidas destinadas a compensar este aumento en las emisiones generadas (Gobierno de Baleares, 2021).

En este marco institucional, los municipios poseen una relevancia considerable de cara a reducir las emisiones de GEI de carácter difuso. Entre estas emisiones difusas se incluyen las procedentes del transporte, los usos residenciales, los residuos, la actividad comercial o la industrial (Zubelzu & Hernández, 2014).

La relación entre emisiones de GEI y uso de suelo ha sido ampliamente estudiada tanto en lo que se refiere a los usos de los espacios urbanos (Quin et al., 2013; Wan *et al.*, 2019) como a los usos agrícolas (Vleeshouwers *et al.*, 2002; Aleksandrowicz *et al.*, 2016). Sin embargo, el desarrollo de metodologías aplicadas para cuantificación o evaluación de GEI ha experimentado un menor desarrollo. A continuación, se presentan algunos ejemplos de metodologías existentes para el cálculo de la huella de carbono. Estos métodos cuentan con diferentes características en función de los ámbitos o sectores incluidos para su cálculo.

El trabajo realizado por Eduardo Jiménez Munné (2020), además de considerar factores como la energía eléctrica, el consumo de agua o el transporte para el cálculo de la huella de carbono, se caracteriza por ser uno de los únicos que tiene en cuenta la respiración de cada individuo.

En otra línea, Hernández Moreno y colaboradores (2019), consideran al igual que el anterior trabajo las emisiones producidas por la generación eléctrica y el transporte, así como también las emitidas por los siguientes sectores: el sector agropecuario, manufactura e industria de la construcción, minado y manejo del carbón, industria del petróleo y el gas, además del consumo propio.

En lo que respecta a la metodología utilizada por Chavarría-Solera *et. al.* (2016), a diferencia de los trabajos anteriores presentan un estudio con un amplio nivel de detalle en la cuantificación de múltiples elementos: energía eléctrica, combustible fósil, gas licuado de petróleo en servicios de alimentación, generación de residuos sólidos enviados a relleno sanitario, aguas residuales, viajes aéreos y ganadería. De esta manera, una vez que se cuenta con las cantidades totales anuales de cada uno de estos aspectos, se multiplican por su factor correspondiente de emisión y se obtiene la cantidad de CO₂ emitido por cada aspecto. Sin embargo, el volumen de información necesaria para replicar dicho modelo hace realmente compleja la utilización de dicha metodología.

Otro de los trabajos de gran relevancia metodológica es el desarrollado por Molina y Ortiz (2012) cuya aplicación se centra en el municipio murciano de Blanca. En el caso de esta investigación se parte de los dos siguientes supuestos:

1. La huella de carbono derivada del consumo de electricidad del municipio, considerando que la producción de esta energía ha sido en una central térmica, a partir de combustibles fósiles —carbón o petróleo—. Calcularon las Tec —Toneladas equivalentes de carbono— y Tep —Toneladas equivalentes de petróleo— asociadas al consumo municipal, así como las toneladas (t) de CO₂ emitidas a la atmósfera. Finalmente utilizaron las correspondientes equivalencias, según datos del Plan de Energías Renovables en España.

2. Huella de carbono derivada del consumo de electricidad del municipio teniendo en cuenta el *mix* de producción en el Sistema Eléctrico Español en 2007 y 2008, así como la información de la empresa suministradora de electricidad en el municipio de Blanca (IBERDROLA Distribución Eléctrica, SAU).

En síntesis, dicha metodología se centra únicamente en las emisiones derivadas del consumo de electricidad, por lo que se establece que es una metodología insuficiente para su utilización en este trabajo, ya que no tiene en cuenta emisiones procedentes de otras actividades.

Del mismo modo, resulta de interés dentro de este apartado tratar algunas normas y metodologías de mayor reconocimiento internacional que existen para calcular la huella de carbono de organizaciones según el Ministerio para la Transición Ecológica, 2022:

- *Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard* (Protocolo GEI). Desarrollado por *World Resources Institute* (Instituto de Recursos Mundiales) y *World Business Council for Sustainable Development* (Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible), es uno de los protocolos más utilizados a escala internacional para cuantificar y gestionar las emisiones de GEI. Las emisiones, según lo establecido en el Protocolos de GEI, deben de segmentarse según su alcance, de la siguiente manera (Figura 7):
 - **Alcance 1 o emisiones directas.** Ocurren de fuentes que son propiedad de o están controladas por una empresa y deben de establecerse, qué tipo de emisiones son, según su fuente.
 - **Alcance 2 o emisiones por compra de energía.** Contemplan las emisiones que representa el consumo de energía eléctrica de la red nacional, es decir, las que se compran a los diferentes distribuidores.
 - **Alcance 3 o emisiones indirectas.** Incluyen el resto de las emisiones indirectas que tiene relación con la empresa, evento o producto, pero que son liberadas por otra entidad. Por ejemplo: los sistemas de logística subcontratados, los vuelos comerciales, viajes de colaboradores, entre otros.

Figura 7. Emisiones GEI según su alcance



Fuente: ASGREEN, 2021

- IPCC 2006 GHG *Workbook*. Una completa guía para calcular GEI provenientes de diferentes fuentes y sectores, y que incluye una detallada lista de factores de emisión. Esta guía se crea con el fin de servir de orientación para cuantificar las emisiones de GEI de los inventarios nacionales, pero puede ser de gran utilidad a la hora de calcular la huella de carbono de las organizaciones. Si no se dispone de factores de emisión específicos, el IPCC 2006 GHG *Workbook* proporciona factores de emisión genéricos que pueden servir para calcular la HC de una organización.
- Indicadores GRI (*Global Reporting Initiative*). Iniciativa internacional en la que participan entidades de diversos ámbitos, incluyendo empresas, gobiernos y diferentes organizaciones civiles. Su objetivo es establecer un marco de trabajo común a nivel mundial, con un lenguaje uniforme y parámetros comunes que sirvan para comunicar de una forma clara y transparente las cuestiones relacionadas con la sostenibilidad a través de las denominadas Memorias de Sostenibilidad.
- ISAE 3410, norma internacional aprobada por el Consejo de Normas Internacionales de Auditoría y Aseguramiento (IAASB) en marzo de 2012 sobre Contratos de Aseguramiento de Informes de Gases de Efecto Invernadero.

Una vez presentadas algunas de las metodologías aplicadas para el cálculo de la huella de carbono, se ha seleccionado una metodología que se adecúe al ámbito de estudio y al objetivo principal de este trabajo. Es por ello que la metodología escogida es la realizada por Zubelzu & Hernández (2014). Este método se centra en el cálculo de la huella de carbono del uso residencial integrado en los instrumentos de planeamiento urbanístico. Para calcular dichas emisiones de CO₂ equivalente por unidades de consumo, se aplican los correspondientes factores de emisión a los consumos de recursos vinculados a las siguientes fuentes: consumo de energía eléctrica, consumo de agua potable y tratamiento de aguas residuales. Resultando la siguiente ecuación:

$$HC \text{ (kg CO}_2\text{eq)} = \sum_{i=1}^{i=n} Ci(\text{uds}) \times FE_i \text{ (kg CO}_2\text{eq/udC)}$$

En esta metodología también se calculan las emisiones referentes al gas natural y al tratamiento de residuos, sin embargo, para el ámbito de estudio utilizado dichas fuentes no se pueden considerar. Finalmente, para cada una de las tres fuentes, se sigue un proceso de cálculo esquematizado de la siguiente manera (Figuras 8, 9 y 10), utilizando para todos los casos la unidad de medida kW·h:

Figura 8. Esquema metodológico para el cálculo de la huella de carbono derivada del consumo de energía eléctrica



Fuente: Zubelzu y Hernández, 2014

Figura 9. Esquema metodológico para el cálculo de la huella de carbono derivada del consumo de agua potable



Fuente: Zubelzu & Hernández, 2014

Figura 10. Esquema metodológico para el cálculo de la huella de carbono derivada del tratamiento de aguas residuales



Fuente: Zubelzu & Hernández, 2014

4. ÁMBITO DE ESTUDIO

4.1. La Palma. Aspectos generales

La isla de La Palma posee una base triangular que se extiende desde las costas de Garafía y Barlovento, al norte, a las de Fuencaliente, al sur, a lo largo de más de 45 km. Declarada Reserva Mundial de la Biosfera por la UNESCO en 2002, se encuentra en la parte más noroccidental del Archipiélago Canario en el Océano Atlántico. Administrativamente pertenece a la Provincia de Santa Cruz de Tenerife, dentro de la Comunidad Autónoma de Canarias y cuenta con una población 83 380 habitantes para el año 2021 (ISTAC) repartida en 14 municipios, aunque la mayor parte se concentra en los municipios de Santa Cruz de La Palma —la capital— y Los Llanos de Aridane.

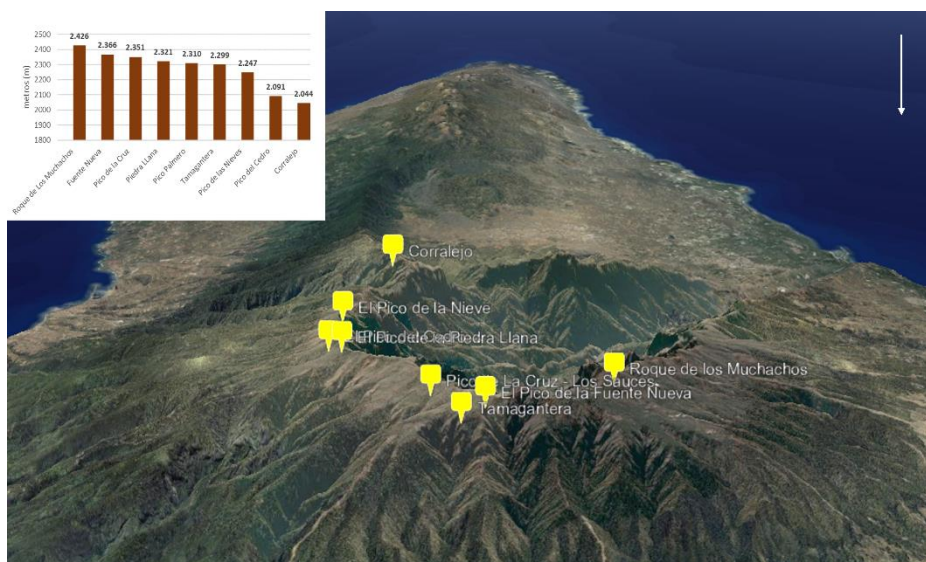
En cuanto a las características geológicas y geomorfológicas de la isla, cabe destacar que La Palma es la parte emergida de un edificio volcánico oceánico de composición predominantemente basáltica, donde su base submarina se apoya sobre la llanura abisal atlántica, a unos 4 000 m de profundidad. La isla tiene una superficie de 706 km² y se caracteriza por la relativa uniformidad de los materiales geológicos que la integran, sin dejar a un lado las diferentes edades y la diversidad derivada de los procesos de meteorización y modelación del relieve (PIOLP, 2011). En lo que respecta a sus unidades estratigráficas y volcanes, está constituida por dos grandes unidades geológicas, el Complejo Basal o Edificio Submarino y los Edificios Subaéreos. Estos últimos comprenden, en orden de antigüedad, los edificios volcánicos Garafía, Taburiente, Cumbre Nueva, Bejenado y Dorsal de Cumbre Vieja (PIOLP, 2011).

Así pues, la actividad volcánica en La Palma comenzó con la formación de un complejo submarino de seamounts —de ambientes submarinos o subvolcánicos— y formaciones plutónicas asociadas, con edades de entre 4 y 3 Ma (Staudigel *et al.*, 1984, 1986; Carracedo *et al.*, 1999). Siendo la isla que, por el momento, abre y cierra el volcanismo del período histórico de Canarias. En ella se han desarrollado tanto la primera como la última de las manifestaciones eruptivas de la fase constructiva más reciente del Archipiélago. Cuenta con el mayor número de episodios volcánicos de edad histórica (Romero, 1990).

Por otro lado, está geológicamente dividida en dos grandes áreas que, además y precisamente vinculado con la antigüedad geológica, se corresponden con diferentes unidades topográficas. La unidad septentrional posee una historia eruptiva compleja y está constituida por la superposición de varios edificios volcánicos compuestos, entre los que se intercalan fases de carácter erosivo. Su construcción y modelado se ha desarrollado a lo largo de más 1,5 Ma, cesando su actividad eruptiva hace unos 440 000 años. Se trata de una estructura volcánica intensamente afectada y remodelada por procesos de modelado, donde es difícil apreciar formas volcánicas directas y donde predominan formas de relieve de carácter erosivo. El sector meridional, donde se localiza la zona de estudio, se corresponde con una dorsal volcánica joven que comenzó su formación hace apenas 125 ka y cuya actividad continúa en la actualidad ya que constituye el escenario de todas las erupciones históricas habidas en la isla (IGN, 2022).

La Palma es una isla de relieve medio considerado. Las máximas elevaciones por encima de los 2 000 m de altitud son las siguientes: el Roque de los Muchachos (2 426 m), Fuente Nueva (2 366 m), Pico de la Cruz (2 351 m), Piedra Llana (2 321 m), Pico Palmero (2 310 m), Tamagantera (2 299 m), Pico de las Nieves (2 247 m), Pico del Cedro (2 091 m) y Corralejo (2 044 m) (Figura 11).

Figura 11. Máximas elevaciones en la isla de La Palma a partir de los 2 000 m de altitud



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos de GRAFCAN, 2022

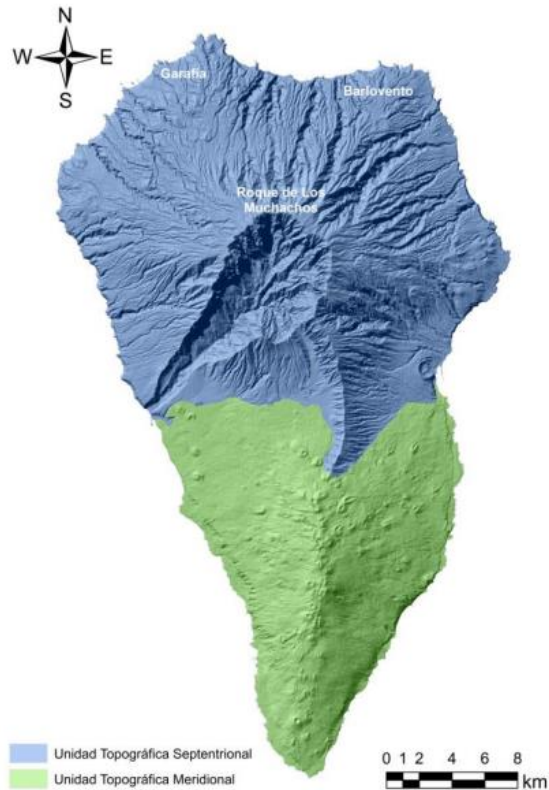
Vinculado con la antigüedad geológica de la isla y con relación al relieve se pueden diferenciar dos grandes estructuras. Por un lado, la parte lobulada septentrional, formada por

los vestigios del edificio Garafía, pero sobre todo por el conjunto de las construcciones Taburiente y Bejenado, donde hoy predominan los procesos de modelado con paisajes muy abruptos y formas mucho más erosionadas. Por otro lado, siguiendo la línea de cumbres hacia el sur, encontramos un área elevada en forma de tejado a dos aguas, que comienza en la denominada Cumbre Nueva para luego extenderse hasta la parte más meridional de la isla en la dorsal volcánica que se denomina Cumbre Vieja. Cumbre Nueva, pese a su nombre, pertenece a las últimas estribaciones de los antiguos conjuntos geológicos de La Palma. Esto se refleja en sus vertientes mucho más labradas, sobre todo al oeste, y con cauces de barranco bien delimitados.

El relieve en general es abrupto y montañoso, mostrando más del 75% de su superficie en los intervalos de altitud comprendidos entre los 200 y los 1.500 metros y presentando algo más del 30% de la misma entre los 500 y los 1000 metros. Por otro lado, más del 55 % de su extensión posee pendientes entre los 12 y los 36°, concentrándose los valores superiores, entre 36 y 48°, preferentemente en el sector septentrional de la isla (PAIV, 2017). El relieve insular se estructura en torno a una línea de cumbres, que se orienta esencialmente en sentido meridiano, mostrando longitudes en sentido este-oeste que nunca superan los 26 km. En torno a este eje central se articula una orografía de acusados contrastes, en la que pueden diferenciarse al menos dos grandes unidades topográficas (Figura 12).

- El sector septentrional (462 km²), el cual se caracteriza por un relieve abrupto y compartimentado, de gran vigor y volumen, con pendientes pronunciadas.
- El sector meridional (244 km²), se caracteriza también por un relieve montañoso y de gran volumen, aunque con pendientes medias sensiblemente inferiores y menor compartimentación fisiográfica.

Figura 12. Unidades topográficas de la isla de La Palma



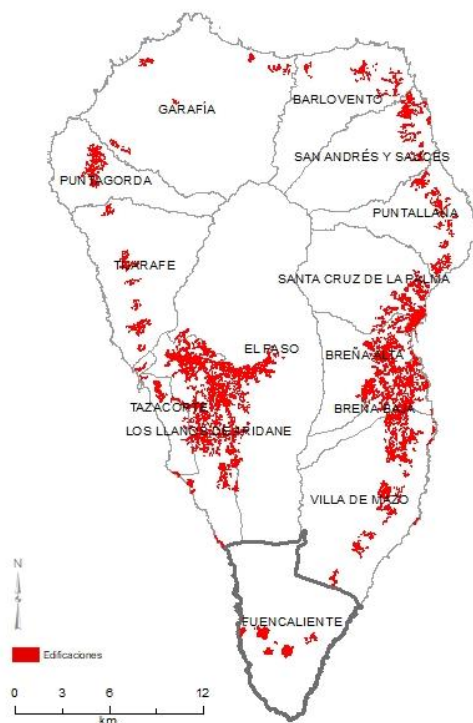
Fuente: PAIV, 2017

En cuanto al sector que enmarca este trabajo —meridional— llamado Cumbre Vieja, posee rasgos topográficos que contrastan notablemente respecto al área septentrional, puesto que se dispone como una cadena montañosa con una única línea de cumbres orientada desde el norte hacia el sur, siguiendo un trazado de orientación similar al de Cumbre Nueva, con la cual contacta por su extremo septentrional.

En lo que respecta a la población de la isla, como se describe anteriormente, Los Llanos de Aridane y Santa Cruz de La Palma son los municipios más poblados de la isla, el primero debido a factores topográficos y socioeconómicos, pues es aquí donde la agricultura posee mayor importancia de la agricultura y donde existe mayor disponibilidad de suelo para diversas actividades (PIOLP, 2011). En el caso de Santa Cruz de La Palma, es su condición histórica y

su cercanía al Aeropuerto de la isla y al Puerto de Santa Cruz de La Palma, lo que ha permitido su desarrollo económico. Estos dos principales núcleos concentran una totalidad de 36 094 habitantes para el año 2021, al este por Santa Cruz de La Palma con 15 446 personas y al oeste en los Llanos de Aridane con 20.648 (ISTAC). Todo ello se refleja claramente en el poblamiento y en los usos de suelo urbano de la isla, los cuales se disponen mayoritariamente en los mencionados municipios, si bien se extienden también hacia Tazacorte y El Paso en los Llanos de Aridane, y hacia Breña Alta y Breña Baja, para el caso de Santa Cruz de La Palma. Tal y como ha ocurrido en el resto de las islas, solemos encontrar núcleos urbanos de medianía que indican la localización del poblamiento histórico en cada municipio, con expansiones posteriores, sobre todo en las áreas costeras (Figura 13).

Figura 13. Distribución de las edificaciones en los municipios de La Palma

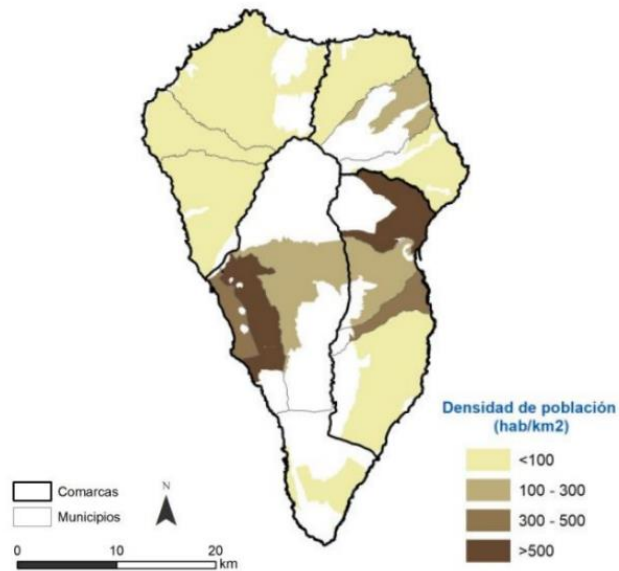


Fuente: Elaboración propia, 2022.

En cuanto a las densidades de población (Figura 14), analizando las mismas sin contabilizar el espacio ocupado por los espacios naturales protegidos, la isla refleja una media de 242,8 hab/km². Observada por municipios, cuatro de ellos superan los 400 hab/km².

Destacan especialmente, los términos municipales de Los Llanos de Aridane (738,2 hab/km²) y Santa Cruz de La Palma (611,8 hab/km²), siguiéndoles Tazacorte y Breña Baja con valores son de 416,4 hab/km² y 463 hab/km² respectivamente. Con densidades más bajas, entre los 100 y 300 hab/km² se encuentran los municipios de El Paso, San Andrés y Sauces y Breña Alta, situándose el resto por debajo de los 100 hab/km² (ISTAC, 2021).

Figura 14. Densidad de población en las comarcas y municipios de La Palma



Fuente: PAIV, 2021

4.2. Fuencaliente

4.2.1. Marco geográfico

El término municipal de Fuencaliente se encuentra situado en el sur de la isla de La Palma, ocupando el extremo de la isla. Sus 56,42 km² representan el 8% de la superficie total de la isla, marcado por las reiteradas erupciones volcánicas, entre los siglos XVII y XX: el volcán de Martín en 1646, el de San Antonio en 1677, el de El Charco en 1712, el de San Juan en 1949 y la última de ellas el volcán de Teneguía en 1971 (Romero, 1990). Estas sucesivas

erupciones han convertido a la parte sur del municipio en la más joven de la isla, derramando sus lavas principalmente, desde Cumbre Vieja hacia el mar lo que crea un paisaje de lavas, piroclastos y escorias volcánicas formando parte de la llamada isla baja junto a sus acantilados marinos, generados por la potente erosión del mar que caracteriza la costa de Fuencaliente. Al ocupar todo el extremo sur de la isla dispone de un frente costero muy extenso que constituye el límite municipal este, sur y oeste. Al norte linda con tres municipios que de oeste a este son Los Llanos de Aridane, El Paso y Villa de Mazo (PGO, 2022).

4.2.2. Descripción general y división del municipio

En lo que respecta al municipio de Fuencaliente, situado al sur de la isla, constituye uno de los municipios menos poblados de La Palma, formando parte del grupo de los más deprimidos junto con los situados en el arco septentrional de la isla. En lo que se refiere a la estructura de la población, la persistencia del fenómeno de la emigración ha acabado moldeando la estructura de la población, por encima de la dinámica natural, y ha situado, en los últimos años, a la natalidad por debajo del umbral de la mortalidad, lo que señala el inicio del retroceso vegetativo del municipio (PGO, 2022).

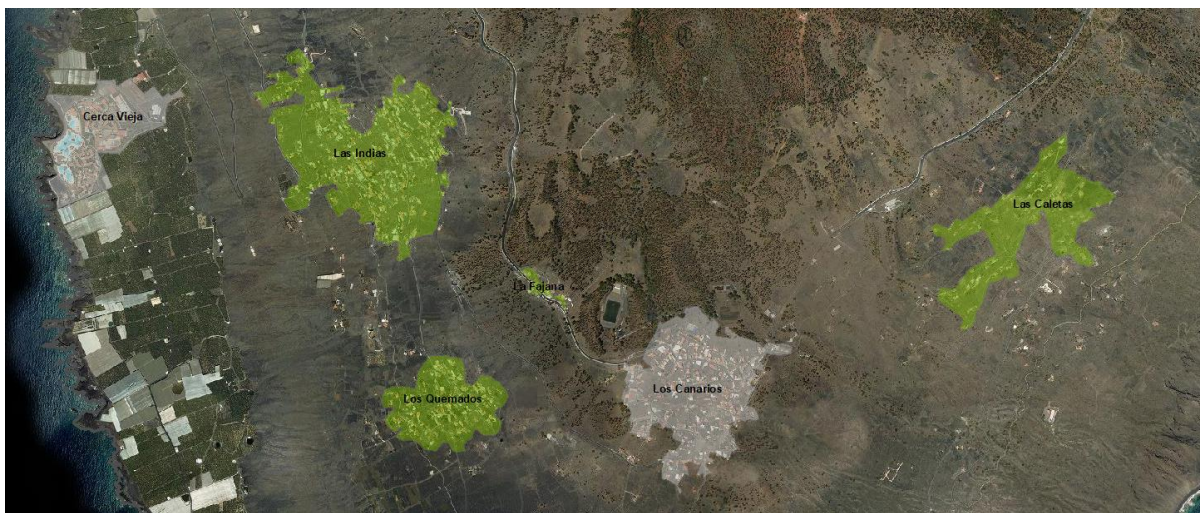
La conformación primitiva del Municipio de Fuencaliente es consecuencia fundamentalmente de cuatro factores: las características topográficas y geomorfológicas del territorio, la aptitud agrícola del suelo, las condiciones climáticas y el sistema insular de accesibilidad. La población se reparte entre 6 entidades de población de tamaño desigual y ubicación de medianías, entre los 300 m y los 750 m de altitud (Figura 15). Estas entidades se dividen en núcleos urbanos y núcleos rurales, representadas en la siguiente tabla (PGO, 2022):

Tabla 1. Entidades de población del municipio de Fuencaliente

NÚCLEOS URBANOS DE FUENCALIENTE	NÚCLEOS RURALES DE FUENCALIENTE
Los Canarios	La Fajana
	Las Indias
Cerca Vieja	Los Quemados
	Las Caletas

Fuente: Elaboración propia a través de los datos recogidos de GESPLAN, 2022

Figura 15. Distribución de las entidades de población en Fuencaliente



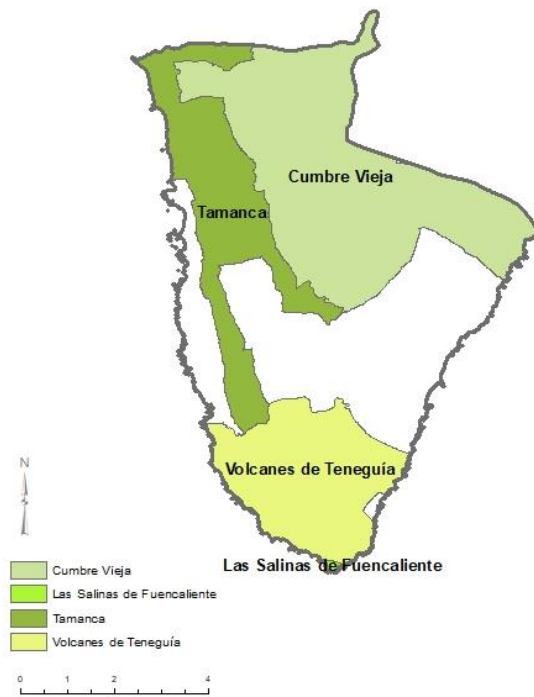
Fuente: Elaboración propia a través de los datos recogidos de GESPLAN y GRAFCAN, 2022

Los Canarios está clasificado como suelo urbano en las Normas Subsidiarias de 1994. Puede considerarse como el centro neurálgico del municipio, actuando como centro administrativo y terciario. En este sentido, la localización de la Iglesia, Plaza de San Antonio Abad, el edificio del Ayuntamiento y demás dependencias administrativas, así como la Plaza Arturo Hernández Paz, generan una centralidad institucional en este núcleo urbano, si bien, el eje de actividad lo constituye la Travesía de la LP-2. Cabe destacar, además, que el único ámbito de suelo urbano calificado para el uso turístico es el correspondiente a la urbanización hotelera de Cerca Vieja, resultado de la ejecución del Plan Parcial del mismo nombre, de carácter aislado, situado en el litoral accidental del municipio, cuya ordenación se mantiene íntegramente. Su origen se encuentra en el desarrollo y ejecución de un Sector de Suelo Apto Para Urbanizar de uso turístico previsto en las Normas Subsidiarias de Planeamiento Municipal vigentes, aprobadas en 1994, y la Modificación Puntual N.º 5 de las mismas. Por otra parte, en cuanto a los cuatro asentamientos poblacionales de carácter rural: Las Indias, Los Quemados, La Fajana y Las Caleta, corresponden con entidades de población existentes con mayor o menor grado de concentración, generalmente sin vinculación actual con actividades primarias, cuyas características no justifican su clasificación y tratamiento como suelo urbano, encontrándose recogidos como Suelo Rústico de Asentamiento Rural. En este sentido, el sistema urbano está también formado por los núcleos urbanos en el medio rural.

De este modo la estructura general del Municipio se apoya en la red de comunicaciones que tiene como ejes principales, la antigua Carretera General del Sur actualmente denominada circunvalación sur (LP-2), y la Carretera de Los Quemados (LP-2091) y Las Indias (LP-209) y la Carretera de Las Caletas y de la Costa (LP-207), y por último la red de caminos municipales que se ha visto muy potenciada, en los últimos años, tanto por el sistema de planificación adoptado en las Normas Subsidiarias que se sustituyen como por la política municipal llevada a cabo (PGO, 2022).

En cuanto, los Espacios Naturales Protegidos que afectan al término municipal de Fuencaliente de La Palma son: Parque Natural Cumbre Vieja (P-4), Paisaje Protegido de Tamanca (P-15), Monumento Natural de los Volcanes de Teneguía (P-10) y el Sitio de Interés Científico de las Salinas de Fuencaliente (P-19) (Figura 16). Todos ellos cuentan con instrumento de ordenación aprobado, a excepción de El Plan Especial de Ordenación del Paisaje Protegido de Tamanca, que se encuentra actualmente en tramitación, por lo que según lo establecido en la disposición transitoria 19ª de la Ley 4/2017, se ha de clasificar como suelo Rústico de Protección Natural (PGO, 2022).

Figura 16. Espacios Naturales Protegidos de Fuencaliente



Fuente: Elaboración propia a través de los datos recogidos de GRAFCAN, 2022

Por último, en cuanto a las clases y categorías de suelo de cada entidad de población del municipio, según el Plan General de Ordenación (PGO) de Fuencaliente actualmente en tramitación, se establece lo siguiente:

Dentro de la clase de Suelo Rústico, se establecen los Asentamientos Rurales de Las Indias, Los Quemados, La Fajana y Las Caletas (Tabla 2).

Tabla 2. Asentamientos Rurales

CATEGORÍA DE SUELO DEL PLAN GENERAL		
CÓDIGO	SUBCATEGORÍA	DENOMINACIÓN
SRAR - 1	ASENTAMIENTO RURAL	Asentamiento Rural Las Indias
SRAR - 2		Asentamiento Rural Los Quemados
SRAR - 3		Asentamiento Rural La Fajana
SRAR - 4		Asentamiento Rural Las Caletas

Fuente: GESPLAN, 2022

Se diferencian, además, dos categorías de suelo urbano: Suelo Urbano Consolidado (SUCO) y Suelo Urbano No Consolidado. Dentro del SUCO se incluyen las entidades de Los Canarios y Cerca Vieja (Tabla 3).

Tabla 3. Categoría de Suelo Urbano Consolidado

CATEGORÍA DE SUELO DEL PLAN GENERAL	
CÓDIGO	DENOMINACIÓN
SUCO	Suelo Urbano Consolidado Los Canarios
	Suelo Urbano Consolidado Cerca Vieja

Fuente: GESPLAN, 2022

Mientras que en el PGO, solo se establece un único Suelo Urbano No Consolidado, SUNCO-1 de uso industrial, situado al sur del núcleo de Los Canarios (Tabla 4). De este modo, no se prevé una expansión del municipio, ya que queda excluida la clase de Suelo Urbanizable y se crea esta pequeña superficie de posible expansión industrial (Figura 17).

Tabla 4. Delimitación del Suelo Urbano No Consolidado UA - 1 Los Canarias Industrial

CATEGORÍA DE SUELO DEL PLAN GENERAL	
CÓDIGO	DENOMINACIÓN
SUNCO	Suelo Urbano No Consolidado: UA-1 Los Canarias Industrial

Fuente: GESPLAN, 2022

Figura 17. Delimitación del Suelo Urbano No Consolidado UA - 1 Los Canarias Industrial



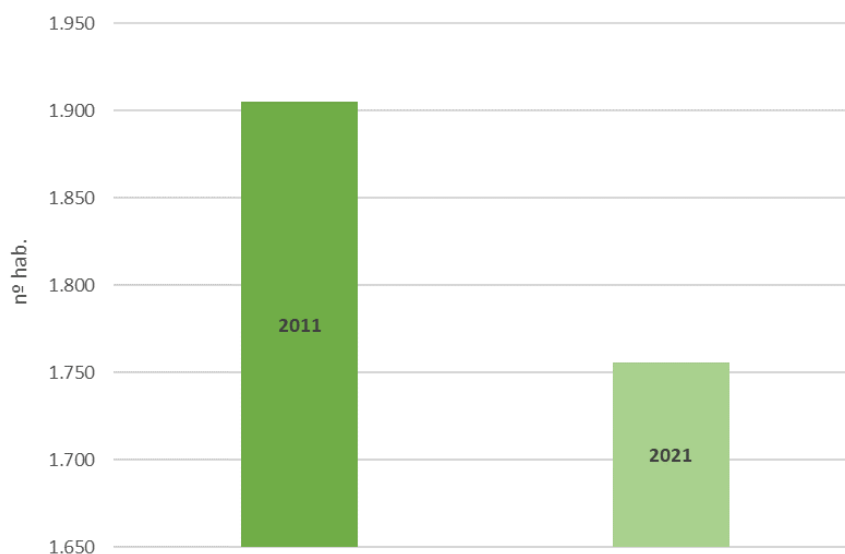
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos de GESPLAN, 2022

4.2.3. Demografía

En el siguiente apartado se estudiará brevemente la población de Fuencaliente de los últimos 10 años, comparando datos demográficos del año 2011 con los más recientes referentes al 2021. Según las cifras oficiales del Instituto Canario de Estadística (ISTAC) se recoge lo siguiente para el año 2021:

La población total del municipio para el año 2021 es de 1 756 habitantes, mientras que en el 2010 el municipio palmero contaba con una cifra de 1 905. Es decir, en los últimos 10 años, Fuencaliente se ha visto enmarcada en una pérdida de población de 149 habitantes (Figura 18). De este modo, como se señalaba anteriormente en el apartado anterior, este retroceso vegetativo es debido a la gran emigración de personas jóvenes que se produce en la isla de La Palma y concretamente en el municipio de Fuencaliente, teniendo una edad media actual de 46,3 años y de 44,3 para el año 2010.

Figura 18. Número de habitantes en el municipio de Fuencaliente en los años 2011 y 2021



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos del ISTAC, 2022

4.2.4. Actividad económica y perspectiva de crecimiento

Las principales actividades que se desarrollan en el municipio son las siguientes (PGO, 2022):

- La agricultura: principalmente la tradicional entre la que destaca el cultivo de la vid, de larga tradición en el municipio, y de la que se obtienen sus vinos entre los que se encuentra el conocido Malvasía de Fuencaliente. Y, por otra parte, el cultivo del plátano, que se asienta en la franja de la isla baja de la costa occidental del municipio, en fincas en muchos casos, de suelos que tuvieron que ser mejorados mediante los trabajos de explanación y adición de suelo alóctono, para destinarlos a este cultivo y donde la implantación de invernaderos para mejorar la productividad ha ocasionado un impacto visual del ámbito.
- La ganadería, la artesanía y la industria: en cuanto a la ganadería, no ha tenido un lugar muy importante entre las actividades que ocupan el suelo municipal debido a la escasez

de pastos en una tierra eminentemente volcánica. Aunque existen pequeñas actividades ganaderas caprinas, porcinas y dromedarias. En lo que respecta a la artesanía, ocupa un lugar de cierta importancia dentro de las actividades que se desarrollan en el municipio, disponiendo de un centro de artesanía en Los Canarios. En el caso de la actividad industrial, se encuentra ligada a la producción de los vinos locales, quedando el resto limitada a pequeños talleres de distinta índole.

- El turismo: Los recursos naturales de los que está dotado el municipio de Fuencaliente, espacios naturales con paisajes volcánicos, constituyen un claro atractivo para los visitantes de la isla de La Palma. Este hecho se refleja en el incremento de las actividades turísticas relacionadas con el turismo volcánico alternativo al turismo de sol y playa, contando en la isla con 47 geomorfositos de interés geoturístico (Dóniz, 2022). Es por ello, que se ha producido un incremento de las plazas alojativas del municipio, contando en la actualidad con un gran hotel en su costa, en el área de Cerca Vieja y numerosos alojamientos repartidos por el ámbito municipal.

En conclusión, en el municipio de Fuencaliente no existe preocupación por las emisiones de GEI ya que tampoco se prevé un crecimiento urbanístico en el término municipal, aunque las NNSS (Normas Subsidiarias) contemplan un suelo urbanizable sectorizado industrial, al sur de Las Caletas, que no se ha desarrollado. Sin embargo, es un lugar que posee características adecuadas para realizar un pequeño ejemplo de cálculo de HC para poder elaborarlo en diversos lugares donde actualmente existe un grave problema con la cantidad de CO₂eq existente.

5. METODOLOGÍA Y FUENTES

Este trabajo se estructura a través de una secuencia metodológica detallada en varias etapas que se vinculan, asimismo, con los objetivos específicos planteados con anterioridad para así lograr el objetivo principal establecido.

- Etapa 1. Elaboración de un marco teórico.
- Etapa 2. Elección y caracterización del ámbito de estudio.
- Etapa 3. Cálculo de la huella de carbono del tejido urbano del municipio de Fuencaliente.
- Etapa 4. Generación de unas conclusiones finales.

Etapa 1. Elaboración de un marco teórico

Se ha elaborado un marco teórico relativo a los conceptos de cambio climático, efecto invernadero y huella de carbono, profundizando especialmente en el fenómeno del cambio climático enmarcado en el territorio canario. De la misma manera que se ha contrastado información referente al impacto que tienen los diferentes usos de suelo en la emisión de CO₂, así como en las metodologías utilizadas para el posterior cálculo de la huella de carbono. Todo ello mediante una extensa revisión bibliográfica procedente de fuentes académicas tanto físicas como virtuales, tales como: *Google Scholar*, *Scielo*...de donde se han extraído artículos e informes científicos que han sido muy útiles para conocer con profundidad el tema que se aborda, además de ayudar a extraer la información necesaria requerida en este trabajo. Asimismo, se han empleado otros recursos de búsqueda de información como puede ser el del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), de donde se ha obtenido diversos informes de gran utilidad para la realización del trabajo.

Etapa 2. Elección y caracterización del ámbito de estudio

La elección del municipio de Fuencaliente se ha realizado en base a que es un término municipal pequeño con un grado escaso de poblamiento, lo que facilita la clasificación de las edificaciones y las posteriores operaciones que permiten ejemplificar una breve demostración

del cálculo de la huella de carbono, posteriormente extrapolable al resto de la isla y otros lugares del mundo. Así pues, se ha caracterizado de forma general a la isla de La Palma, definiendo brevemente aspectos de localización, geología, topografía y relieve, así como de población. Por otro lado, se ha concretado en la contextualización del término municipal a estudiar (Fuencaliente).

La redacción del ámbito de estudio se ha llevado a cabo a través de la recopilación de datos de diversas fuentes oficiales, destacando entre las más relevantes el Plan General de Ordenación de Fuencaliente —en tramitación actualmente—, el Plan Insular de Ordenación de la isla de La Palma, así como el Instituto Canario de Estadística.

Etapa 3. Cálculo de la huella de carbono del tejido urbano del municipio de Fuencaliente

Referente al cálculo de la huella de carbono en kilogramos de dióxido de carbono equivalente por unidad de consumo ($\text{kg CO}_2\text{eq/udC}$) para el tejido urbano de Fuencaliente, se han tenido en cuenta las edificaciones que se enmarcan dentro las distintas categorías de suelo según el Plan General de Ordenación (PGO) de Fuencaliente.

Se ha considerado a la clase de Suelo Urbano, es decir, a los terrenos que están integrados legalmente o son susceptibles de integrarse en una trama o malla urbana por el Planeamiento, pero únicamente a la categoría de Suelo Urbano Consolidado (SUICO) que corresponde a las entidades de Los Canarios y Cerca Vieja. Queda por tanto excluido la categoría de Suelo Urbano No Consolidado, correspondiente al sur del núcleo de Los Canarios, así como también no se han considerado las distintas categorías de Suelo Rústico que corresponden con las establecidas por los artículos 33 y 34 de la Ley 4/2017, salvo la referida a Suelo Rústico de Asentamiento Rural (SRAR) que corresponde a los Asentamientos Rurales de Las Indias, Los Quemados, La Fajana y Las Caletas.

El método seleccionado para el cálculo de la huella de carbono se encuentra orientado y focalizado en las edificaciones y sobre todo en la distribución de la población y de las personas en estas. Especialmente cuando se trata de usos residenciales o alojativos. Para el caso de otros usos y actividades, el método se ha complementado infiriendo la huella de carbono a partir de la superficie edificatoria. Por ejemplo, una iglesia o un centro social del que no se tienen datos numéricos de personas que lo frecuentan diariamente. Para la realización de esta etapa metodológica se han seguido los siguientes pasos:

1º Se ha preparado la información geográfica relativa al tejido urbano. A partir del Portal de Datos Abiertos del Sistema de Información Territorial de Canarias (SITCAN) se ha descargado la capa de edificaciones de La Palma 1:5.000 del año 2017 agrupada por núcleos. Posteriormente, a través de la herramienta *ArcMap*, se ha procedido a calcular el área de las edificaciones, así como la superficie total de las mismas, multiplicando cada área con el número correspondiente de plantas de cada construcción.

2º Se ha clasificado al tejido urbano del municipio en 5 usos de suelo diversos: residencial, turístico, social, educativo y comercial. Para esta clasificación se ha utilizado el visor de GRAFCAN y se ha ido catalogando las edificaciones según su actividad en cada uno de los diferentes usos (Figuras 19 a 24). Hay que tener en cuenta que existen distintas fuentes gráficas, entre las que se encuentra la utilizada, por lo tanto, cabe la posibilidad de que se originen divergencias en el número y distribución de las actividades de las edificaciones en función de la fuente utilizada. No obstante, estas posibles diferencias no interfieren en el objetivo principal del trabajo ya que la muestra obtenida es significativa en términos estadísticos.

Figura 19. Usos de suelo en Cerca Vieja (1)

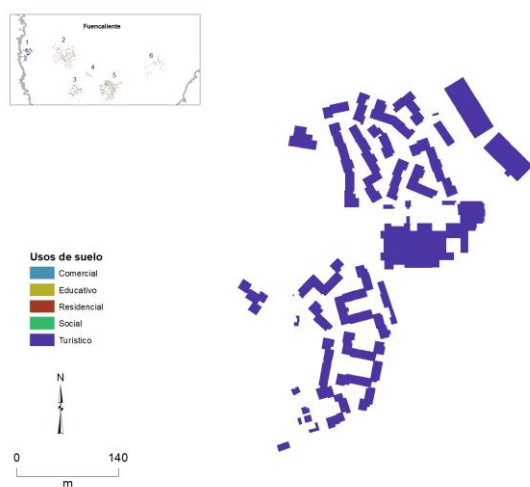
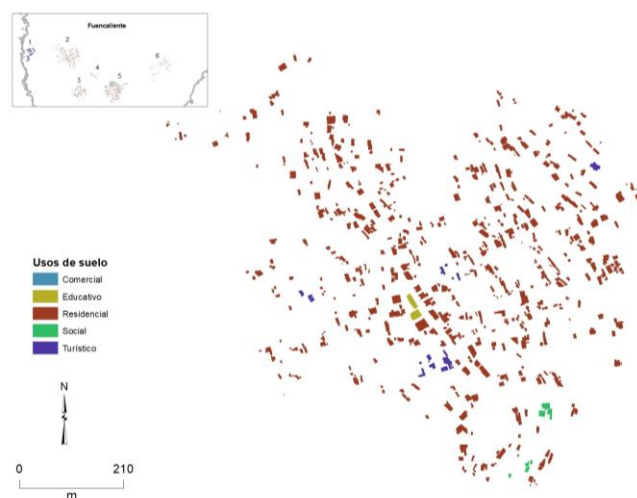


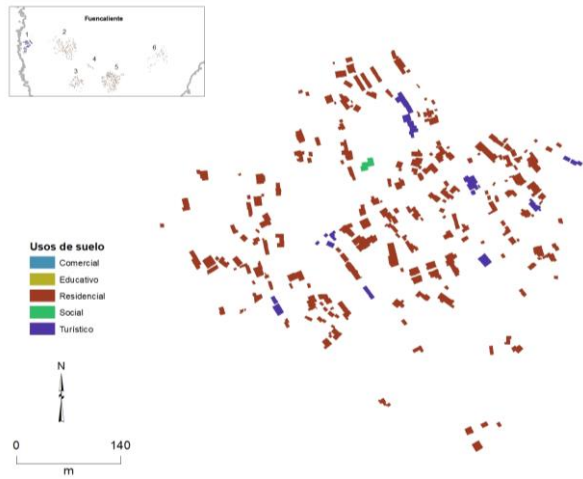
Figura 20. Usos de suelo en Las Indias (2)



Fuente: Elaboración propia, 2022

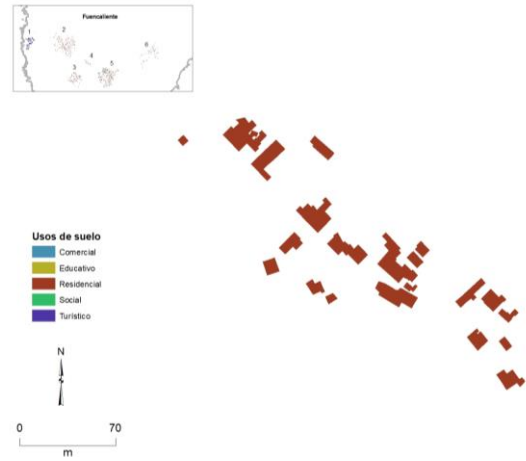
Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 21. Uso de suelo en Los Quemados (3)



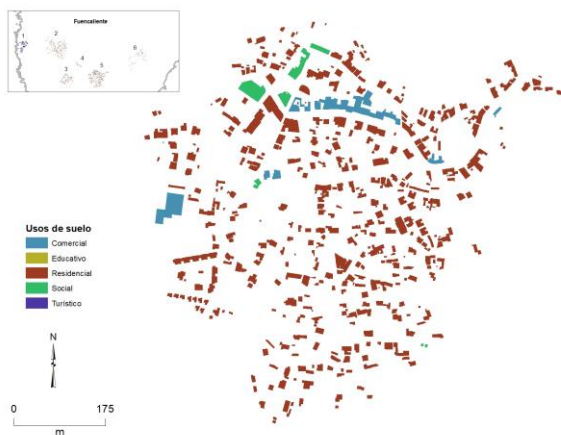
Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 22. Usos de suelo en La Fajana (4)



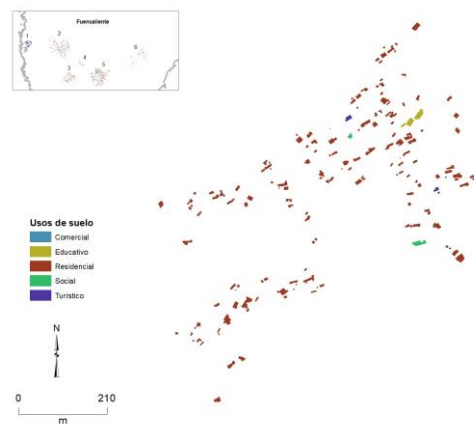
Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 23. Uso de suelo en Los Canarios (5)



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 24. Uso de suelo en Las Caletas (6)



Fuente: Elaboración propia, 2022

3º Se ha generado una cartografía dasimétrica para distribuir la población en las edificaciones en el caso del uso residencial y para el uso de índole turística se han utilizado los datos de capacidad alojativa del PGO de Fuencaliente actualmente en tramitación. Para calcular la población que habita en cada edificio residencial (POB EDIF), se ha utilizado la población total del núcleo poblacional (POB), la superficie total residencial de ese núcleo (SUP), así como la superficie por edificio (SUP EDIF). De este modo, resulta la ecuación $POB\ EDIF = (POB \times SUP\ EDIF) \div SUP$. Por ejemplo, en el caso de un edificio residencial de Los Canarios resultaría la operación $(430 \times 216) \div 70\ 277,5 = 1,3$. Es decir, en este edificio en concreto habita de media 1,3 personas.

4º Para calcular las emisiones de CO₂ equivalente por unidades de consumo, se han identificado los correspondientes factores de emisión a los consumos de recursos vinculados a las siguientes fuentes o actividades: consumo de energía eléctrica, consumo de agua potable y tratamiento de aguas residuales (Tabla 5). Resultando la siguiente ecuación:

$HC\ (kg\ CO_2eq) = \sum_{i=1}^{i=n} Ci(uds) \times FE_i\ (kg\ CO_2eq/udC)$, donde HC se refiere a la huella de carbono en kilogramos de CO₂ equivalentes, C hace referencia a las unidades de consumo y FE corresponde al factor de emisión medido en kilogramos de CO₂ entre unidades de consumo.

Tabla 5. Factores de emisión

FACTOR DE EMISIÓN		Fuente
Electricidad convencional Canarias	0,776 kg CO ₂ eq/kW·h	Comisión Permanente de Certificación Energética, 2013
COSTE ENERGÉTICO AGUA POTABLE	COSTE ENERGÉTICO TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES	Qi y Ni-Bing (2013)
1,29 kW·h/m ³	0,976 kW·h/m ³	
ACTIVIDAD	CONSUMO PERSONA/AÑO	CONSUMO M ² /AÑO
Suministro de energía eléctrica	5.721 kW·h España Fuente: Coinc	95 kW·h Fuente: Roams Energía
Suministro agua potable	54,75 m ³ Fuente: Sebastián Delgado, 2021	
Agua residual tratada	80,3 m ³ Fuente: Zubelzu et. Al., 2011	

Fuente: Elaboración propia, 2022

5º Se ha realizado el cálculo de la huella de carbono en el tejido urbano del municipio. Para el caso de los usos comerciales, sociales y educativos, ya que no poseen datos de población, pero sí de superficie, se ha atendido a las emisiones de CO₂eq producidas únicamente por el consumo eléctrico. Sin embargo, para el resto de los usos —turístico y residencial—, siguiendo la metodología empleada por Zubelzu & Hernández (2014) se han tenido en cuenta también las

emisiones procedentes del consumo de agua y del tratamiento de aguas residuales. Dichos cálculos se han elaborado en una hoja de Excel de la siguiente manera:

Suministro de energía eléctrica

a) Uso residencial y turístico

$$5\,721 \text{ kW}\cdot\text{h persona/año} \times \alpha \text{ (población/edificio)} = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \text{ kW}\cdot\text{h (consumo/edificio)}$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} C_i \text{ kW}\cdot\text{h} \times FE_i (0,776 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/ kW}\cdot\text{h}) = \mathbf{HC (kg CO}_2\mathbf{eq)}$$

b) Uso educativo, comercial y social

$$95 \text{ kW}\cdot\text{h m}^2/\text{año} \times \beta \text{ m}^2 \text{ (superficie total edificio)} = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \text{ kW}\cdot\text{h (consumo/edificio)}$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} C_i \text{ kW}\cdot\text{h} \times FE_i (0,776 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/ kW}\cdot\text{h}) = \mathbf{HC (kg CO}_2\mathbf{eq)}$$

Consumo de agua potable

a) Uso residencial y turístico

$$54,75 \text{ m}^3 \text{ persona/año} \times \alpha \text{ (población/edificio)} = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \text{ m}^3 \text{ (consumo/edificio)}$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} C_i \text{ m}^3 \times 1,29 \text{ kW}\cdot\text{h/m}^3 \text{ (coste energético)} = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \text{ kW}\cdot\text{h}$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} C_i \text{ kW}\cdot\text{h} \times FE_i (0,776 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/ kW}\cdot\text{h}) = \mathbf{HC (kg CO}_2\mathbf{eq)}$$

Tratamiento de aguas residuales

a) Uso residencial y turístico

$$80,3 \text{ m}^3 \text{ persona/año} \times \alpha \text{ (población/edificio)} = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \text{ m}^3 \text{ (consumo/edificio)}$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} C_i \text{ m}^3 \times 0,976 \text{ kW}\cdot\text{h/m}^3 \text{ (coste energético)} = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \text{ kW}\cdot\text{h}$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} C_i \text{ kW}\cdot\text{h} \times FE_i \text{ (0,776 kg CO}_2 \text{ eq/ kW}\cdot\text{h)} = \mathbf{HC \text{ (kg CO}_2\text{eq)}}$$

Etapla 4. Generación de unas conclusiones finales

Por último, se han elaborado unas conclusiones en donde se refleja la importancia del cálculo de la HC para poder centrar las actuaciones de reducción y mitigación en el mayor foco de emisiones de CO₂eq de un territorio.

6. RESULTADOS

Cumpliendo con el objetivo principal de este trabajo, una vez realizados los correspondientes cálculos relativos a las emisiones de CO₂eq anuales en el tejido urbano de Fuencaliente, se extrajeron diversos resultados.

En primer lugar, se muestran dos tablas de información, una para cada uno de los seis núcleos de población del municipio (Tabla 6) y otra dividida por los cinco usos de suelo establecidos (Tabla 7). En ambas tablas se muestra la suma de emisiones de CO₂eq referente a cada fuente estudiada: 1) suministro de energía eléctrica; 2) consumo de agua potable; 3) tratamiento de aguas residuales; 4) la HC total de todas las fuentes; y 5) la HC general por número de edificación.

Tabla 6. HC medida en kg CO₂eq por núcleo de población y edificaciones

Núcleo	HC Energía Eléctrica	HC Agua Potable	HC Agua Residual	HC Total	Nº de edificaciones	HC / Edificaciones
Caletas (Las)	1.193.196,17	10.084,48	11.190,39	1.214.471,04	325	3.737
Canarios (Los)	18.071.604,75	36.611,04	40.625,96	18.148.841,76	1.053	17.235
Cerca Vieja	5.549.370,00	68.508,70	76.021,60	5.693.900,30	1	5.693.900
Fajana (La)	128.745,42	1.589,40	1.763,70	132.098,52	81	1.631
Indias (Las)	3.340.507,55	37.926,43	42.085,59	3.420.519,56	1.047	3.267
Quemados (Los)	1.759.222,53	21.539,14	23.901,20	1.804.662,86	461	3.915
TOTAL	30.042.646,42	176.259,19	195.588,43	30.414.494,04	2.968	10.247

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla 7. HC medida en kg CO₂ eq por usos de suelo y edificaciones

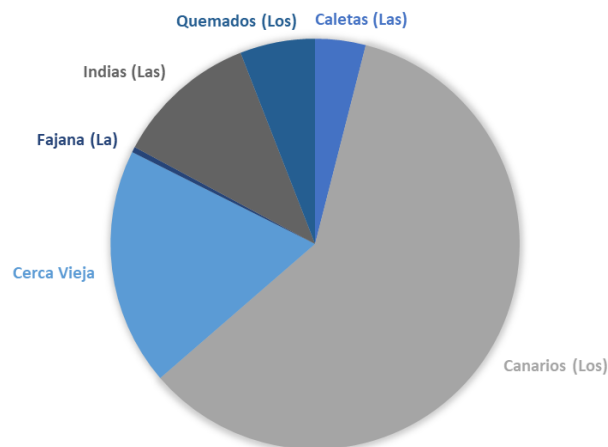
Usos de suelo	HC Energía Eléctrica	HC Agua Potable	HC Agua Residual	HC Total	Nº de edificaciones	HC / Edificaciones
Comercial	13.357.020,61	-	-	13.357.020,61	62	215.435,82
Educativo	290.063,00	-	-	290.063,00	12	24.171,92
Residencial	7.183.106,18	98.402,41	88.677,65	7.370.186,25	2.755	2.675,20
Social	2.118.140,75	-	-	2.118.140,75	49	43.227,36
Turístico	7.094.315,88	97.186,02	87.581,54	7.279.083,43	90	80.878,70
TOTAL	30.042.646,42	176.259,19	195.588,43	30.414.494,04	2.968	10.247,47

Fuente: Elaboración propia, 2022

El tejido urbano de Fuencaliente emite 30 414 toneladas (t) de CO₂eq al año, dentro de las fuentes de emisión tratadas, 30 042 t provienen del consumo eléctrico, lo que representa un 98,78% de las emisiones totales. Mientras que el 1,22% de las emisiones de CO₂eq provienen del consumo de agua potable, así como del tratamiento de aguas residuales, las cuales originan únicamente un total de 176 y 195 t respectivamente.

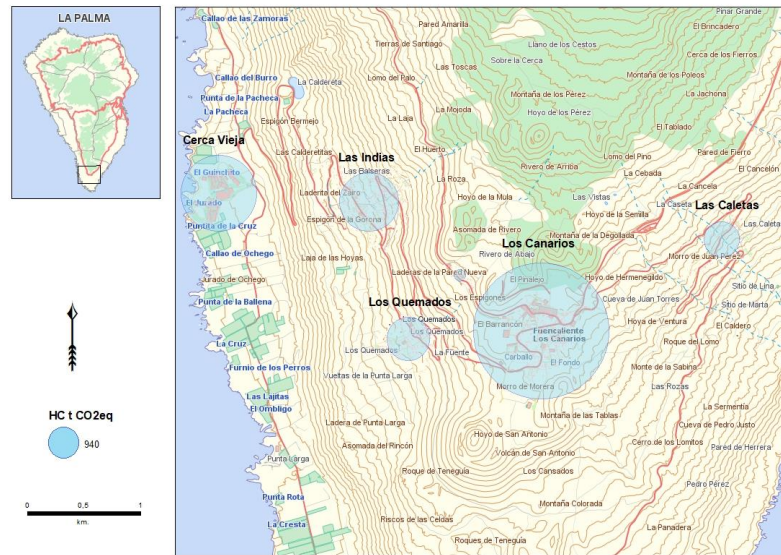
En cuanto al núcleo poblacional con mayor impacto de emisiones corresponde al núcleo de Los Canarios, con un total de 18 148 t de CO₂eq —representando un 59,67% de las emisiones totales del tejido urbano— ya que es el centro neurálgico del municipio y cuenta con un mayor número de comercios y servicios. Seguido de Cerca Vieja y Las Indias, contando con un 18,72% y 11,24% de las emisiones de CO₂eq totales respectivamente, y de Los Quemados (5,93%) y Las Caletas (3,92%). Mientras que la menor cantidad de emisiones de CO₂eq proviene del núcleo de La Fajana, con tan solo 132 t, lo que representa menos del 1% del total de la HC total (Figuras 25 y 26).

Figura 25. Distribución de la HC total por núcleo poblacional medida en kg CO₂eq



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 26. Distribución de la HC total por núcleo poblacional medida en kg CO₂eq



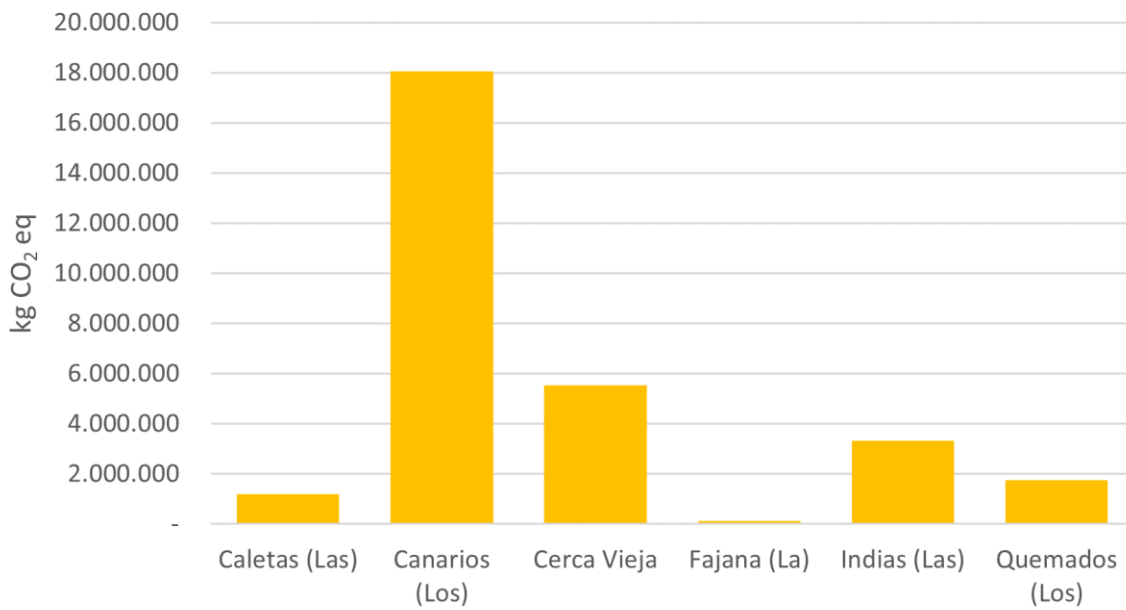
Fuente: Elaboración propia a través de los datos recogidos de GRAFCAN, 2022

Centrándonos en la HC por edificación, tanto para el caso de la división por núcleos de población como por uso de suelo, se concluye que en el tejido urbano de Fuencaliente cada edificio emite un valor medio de 10 t de CO₂eq al año. Sin embargo, este resultado no es representativo, ya que como se evidencia en el caso del uso turístico, una sola edificación —la correspondiente con el hotel *La Palma & Teneguía Princess* perteneciente al núcleo de Cerca Vieja— emite 5 693 t, por lo que se distorsiona la media de emisiones por edificación que en este caso para 90 edificaciones es de 80 878 t de CO₂eq. En otros términos, si este complejo hotelero no existiera, 89 edificaciones repartidas por los núcleos de población de Fuencaliente de uso turístico emitirían una media de 17 811 t de CO₂eq por edificación. Por otra parte, en el caso del uso de índole comercial, 62 edificaciones poseen una media de 215 toneladas de CO₂eq por establecimiento; mientras que, en el uso residencial, contando con 2 755 edificaciones, la HC por residencia es únicamente de 2 t. Es decir, el impacto medio de la HC por una sola edificación comercial, educativa, social o turística es mayor que el de una única edificación de uso residencial.

Sin embargo, analizando la HC por las diferentes fuentes de emisión, es constatable como en el caso del suministro eléctrico, el núcleo de Los Canarios genera un mayor impacto de emisiones de CO₂eq (Figura 27); mientras que en lo respectivo al consumo de agua (Figura

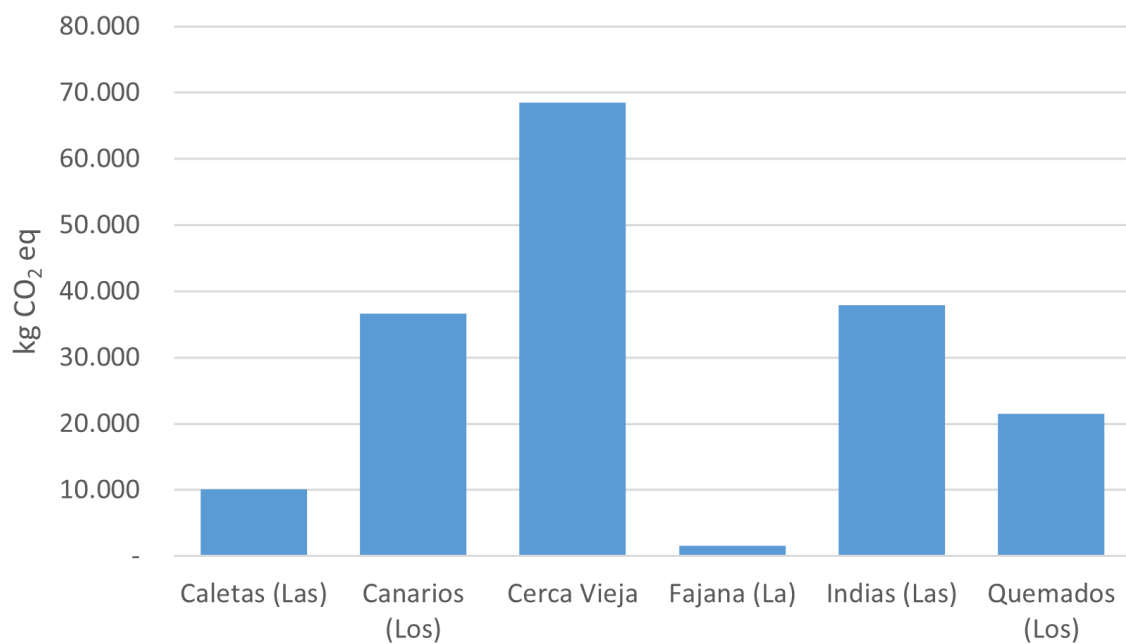
28) y el tratamiento de las mismas (Figura 29), el núcleo de población que mayor HC posee es Cerca Vieja.

Figura 27. HC originada por el consumo de energía eléctrica por núcleo poblacional medida en kg CO₂eq



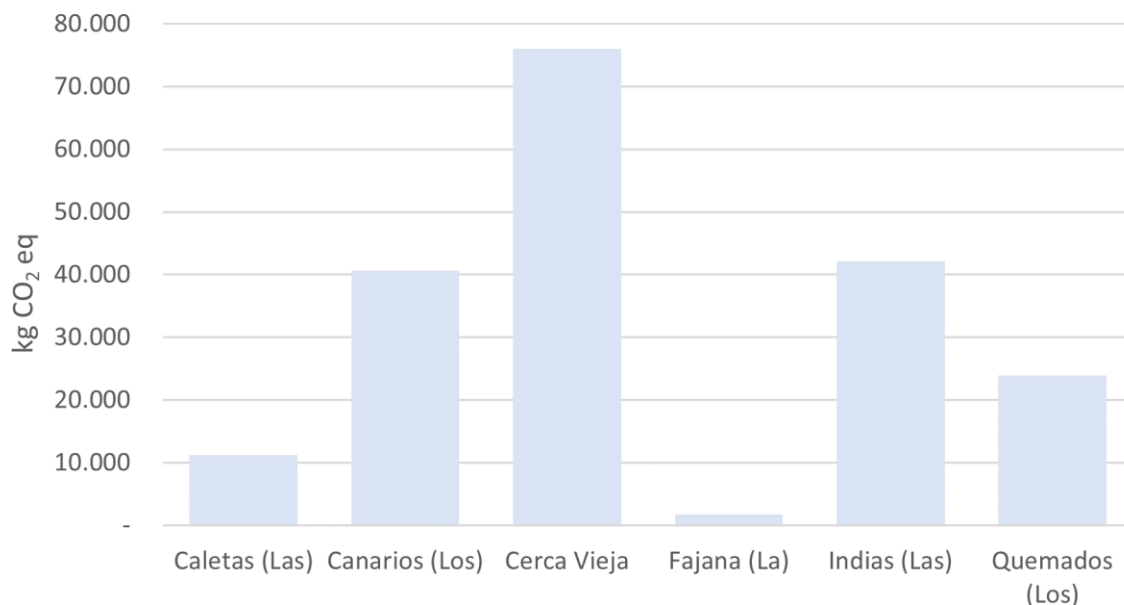
Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 28. HC originada por el consumo de agua potable por núcleo poblacional medida en kg CO₂eq



Fuente: Elaboración propia, 2022

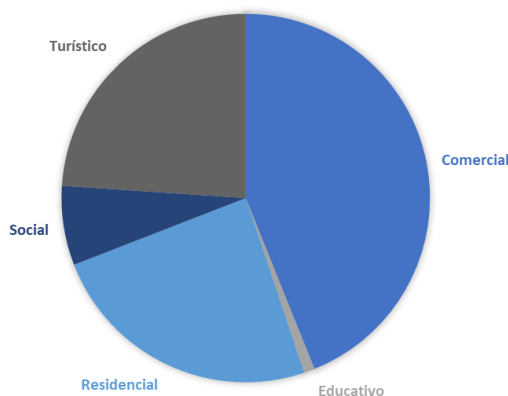
Figura 29. HC originada por el tratamiento de aguas residuales por núcleo poblacional medida en kg CO₂eq



Fuente: Elaboración propia, 2022

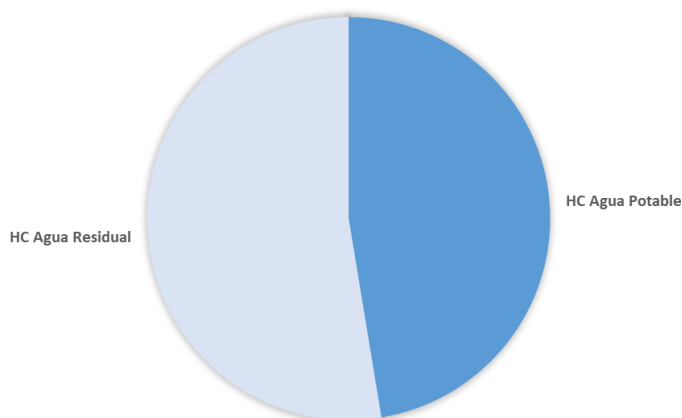
Por otro lado, cabe destacar que el uso de suelo con mayor incidencia de emisiones de CO₂eq es el comercial, contando con 13 357 t, seguido del residencial y el turístico con datos muy similares —7 370 y 7 279 t respectivamente— (Figura 30). En lo que respecta a estos usos de suelo, se debe tener en cuenta que el uso de índole comercial, pese a ser el que mayor cantidad de emisiones emite, la HC total únicamente contabiliza las emisiones procedentes del suministro eléctrico. Mientras que en el uso residencial y turístico también se tienen en cuenta las referentes al consumo y tratamiento de aguas, contando con cantidades de emisiones de CO₂eq bastante inferiores a las del consumo eléctrico, donde el tratamiento de aguas residuales emite un total de 19 t más que el consumo de agua potable, generando una HC total de 195 y 176 t de CO₂eq respectivamente (Figura 31).

Figura 30. Distribución de la HC total por uso de suelo medida en kg CO₂eq



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 31. Distribución de la HC según el tipo de agua medida en kg CO₂eq



Fuente: Elaboración propia, 2022

Asimismo, es distinguible como un núcleo de población según su uso de suelo puede emitir cantidades dispares de emisiones de CO₂eq. Así sucede en el núcleo de Cerca Vieja, donde un único complejo hotelero emite más del 75% de las emisiones de la HC de uso turístico (5 693 t). Sin embargo, no se producen emisiones procedentes de ningún otro uso.

Es significativo, además, el caso de Los Canarios y Las Indias. En el primer caso, pese a que cuenta con el mayor número de viviendas residenciales, el principal impacto de la HC se

encuentra en el uso comercial, ya que se posee diversos establecimientos de gran importancia en el municipio —Ayuntamiento, oficinas bancarias, comisaría de policía, oficina de correos, supermercados...—. Es por ello que pese a tener únicamente 18 edificaciones residenciales más que el núcleo de Las Indias, las emisiones totales de cada uno de estos núcleos poblacionales se alejan en 14 721 t, donde Los Canarios cuenta con 18 148 t de CO₂eq y Las Indias con 3 420 t. Finalmente, La Fajana al ser un núcleo completamente residencial donde se reparten 81 edificios, posee el menor número de emisiones contaminantes, como se ha comentado anteriormente, representando menos del 1% de la HC total.

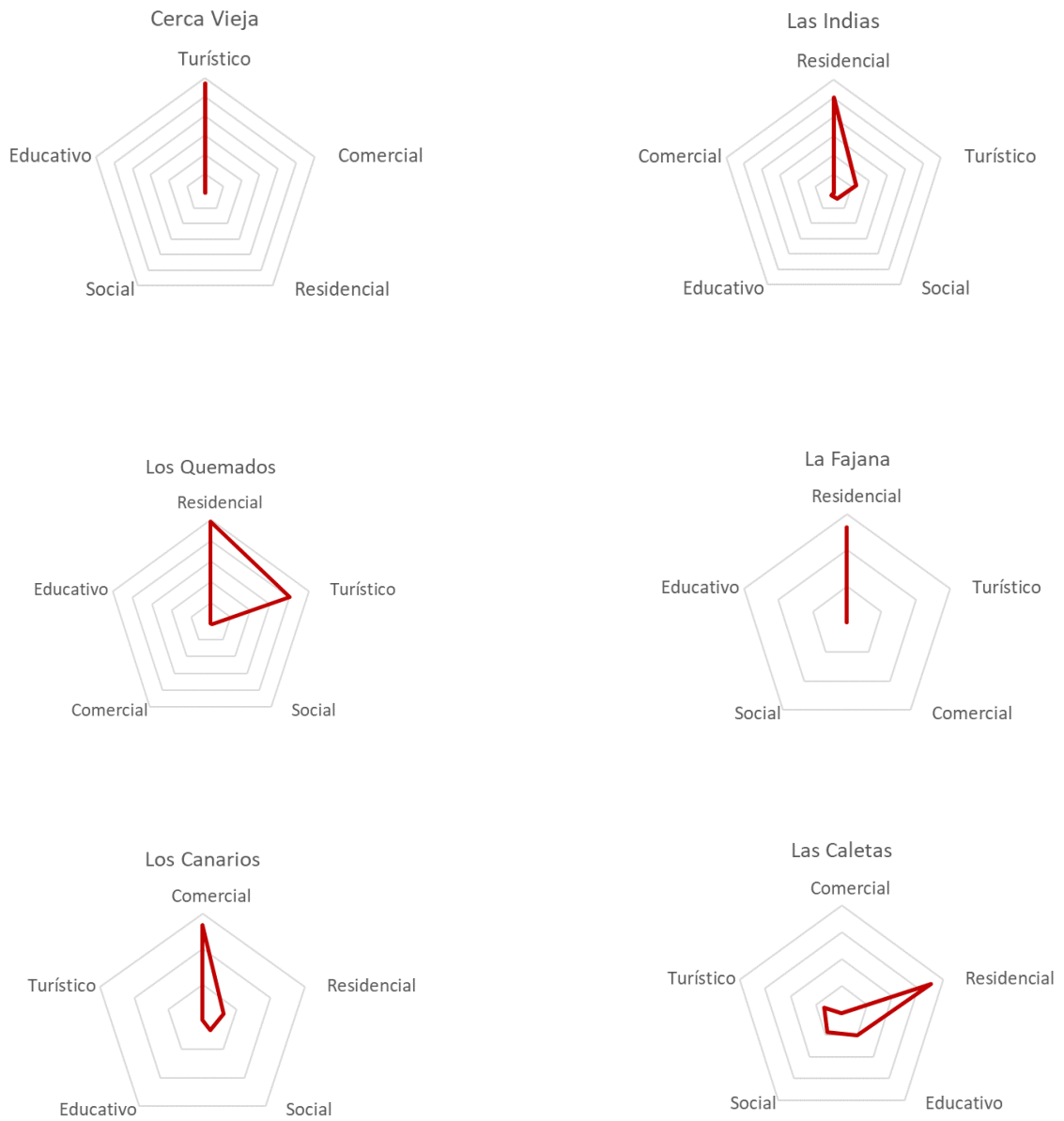
La siguiente tabla dividida por núcleos de población y usos de suelo (Tabla 8) ha permitido elaborar diversos gráficos (Figura 32) donde se muestra para cada uno de los núcleos de población que conforman el tejido urbano del término municipal de Fuencaliente los usos de suelo que más impacto generan en la HC total.

Tabla 8. HC medida en kg CO₂eq por núcleo de población, usos de suelo y edificaciones

	Nº de edificaciones	HC Energía Eléctrica	HC Agua Potable	HC Agua Residual	HC Total
Caletas (Las)	325	1.193.196,17	10.084,48	11.190,39	1.214.471,04
Comercial	-	-	-	-	-
Residencial	298	683.682,77	8.440,27	9.365,87	701.488,92
Educativo	10	200.241,80	-	-	200.241,80
Social	10	176.086,60	-	-	176.086,60
Turístico	7	133.185,00	1.644,21	1.824,52	136.653,73
Canarios (Los)	1.053	18.071.604,75	36.611,04	40.625,96	18.148.841,76
Comercial	62	13.357.020,61	-	-	13.357.020,61
Residencial	968	2.965.583,69	36.611,04	40.625,96	3.042.820,70
Social	23	1.749.000,45	-	-	1.749.000,45
Educativo	-	-	-	-	-
Turístico	-	-	-	-	-
Cerca Vieja	1	5.549.370,00	68.508,70	76.021,60	5.693.900,30
Turístico	1	5.549.370,00	68.508,70	76.021,60	5.693.900,30
Comercial	-	-	-	-	-
Residencial	-	-	-	-	-
Social	-	-	-	-	-
Educativo	-	-	-	-	-
Fajana (La)	81	128.745,42	1.589,40	1.763,70	132.098,52
Residencial	81	128.745,42	1.589,40	1.763,70	132.098,52
Turístico	-	-	-	-	-
Comercial	-	-	-	-	-
Social	-	-	-	-	-
Educativo	-	-	-	-	-
Indias (Las)	1.047	3.340.507,55	37.926,43	42.085,59	3.420.519,56
Residencial	986	2.446.163,04	30.198,64	33.510,35	2.509.872,02
Turístico	44	625.969,41	7.727,79	8.575,24	642.272,44
Social	15	178.553,90	-	-	178.553,90
Educativo	2	89.821,20	-	-	89.821,20
Comercial	-	-	-	-	-
Quemados (Los)	461	1.759.222,53	21.539,14	23.901,20	1.804.662,86
Residencial	422	958.931,26	11.838,30	13.136,54	983.906,09
Turístico	38	785.791,47	9.700,84	10.764,66	806.256,97
Social	1	14.499,80	-	-	14.499,80
Comercial	-	-	-	-	-
Educativo	-	-	-	-	-
TOTAL	2.968	30.042.646,42	176.259,19	195.588,43	30.414.494,04

Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 32. Tendencias del impacto de la HC por usos de suelo



Fuente: Elaboración propia, 2022

7. CONCLUSIONES

Según el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), para evitar que el aumento de la temperatura no supere los 2°C en el año 2050 se deben estabilizar las condiciones climáticas. Es decir, sería necesario reducir las emisiones de GEI de aproximadamente 7 toneladas per cápita a 2 toneladas, por lo que el cálculo de la HC es de gran utilidad para priorizar destinar recursos de minimización del impacto de la HC en el territorio a los tipos de edificaciones o fuentes de donde se genere un mayor número de emisiones de CO₂eq.

En este sentido, cumpliendo con los objetivos específicos del trabajo, se elabora un marco teórico, donde se exponen los siguientes ejes: 1) Cambio climático y huella de carbono, 2) Usos de suelo y generación de GEI y 3) Metodologías para el cálculo de la HC. Dicha contextualización pone de manifiesto la importancia de reducir las emisiones de gases de efecto a nivel global y sobre todo en el archipiélago canario. Es por este motivo que se ha caracterizado el término municipal de Fuencaliente, donde se observan seis núcleos diferenciados de población que poseen unas dimensiones y densidades muy abordables desde el punto de vista de su utilización como objeto territorial de esta prueba piloto y experimental, de la cual se han obtenido unos resultados de gran interés. Pese a que el estudio se realice en un municipio de escasas dimensiones donde no existen grandes cantidades de emisiones de CO₂eq comparadas con las que se producen en grandes ciudades a nivel estatal como Madrid o Barcelona, la metodología empleada se puede adaptar y extrapolar a cualquier otro ámbito de estudio donde se produzca una mayor generación de emisiones de GEI y se deban tomar medidas urgentes para mitigar y reducir los efectos del cambio climático.

Siguiendo lo establecido por el objetivo principal de este trabajo, se ha procedido al cálculo de la HC en el tejido urbano, donde se ha preparado la información clasificando a cada edificación por sus diferentes usos de suelo: residencial, turístico, comercial, social y educativo. Asimismo, se han recopilado los factores de emisión necesarios para la realización de los cálculos correspondientes a la HC según la fuente de emisión responsable: suministro de energía eléctrica, consumo de agua potable y tratamiento de aguas residuales. Uno de los resultados obtenidos más destacables del presente estudio, es el correspondiente a la HC total en el uso turístico y en el residencial, ya que con una diferencia de 2 665 edificaciones más para el caso del uso residencial, ambos poseen una cantidad de emisiones de CO₂eq muy similar, con 7 370 t en el uso residencial y 7 279 t en el turístico. Además, se ha comprobado

como la fuente de emisión que mayor impacto genera en la HC total es la referente al consumo de energía eléctrica, representando un 98,78% de las emisiones de CO₂eq.

Por otro lado, se pueden derivar utilidades importantes referentes al esfuerzo presupuestario que, tanto las administraciones públicas como las iniciativas privadas, puedan desarrollar para mejorar la eficiencia y optimización de sus instalaciones de cara a reducir el impacto de emisiones de GEI en su ámbito de influencia. Como se ha podido comprobar la huella de carbono por edificación está muy condicionada al uso que dicho inmueble tenga. Por ejemplo, teniendo en cuenta, tal y como se ha mostrado en este trabajo que la huella de carbono media por inmueble de uso comercial es de 215 t de CO₂eq frente a las 2 t de las edificaciones de uso residencial, si una administración pública quisiera destinar recursos para minimizar el impacto en el territorio, la partida presupuestaria que destine a la misma sería más eficaz si se priorizara a inmuebles de uso comercial antes que a los de uso residencial.

Finalmente, este estudio puede incentivar a que se siga estudiando en esta línea de investigación con el fin de prevenir y mitigar los efectos del cambio climático, sobre todo, en el territorio canario. Sin embargo, pese a que estas actuaciones locales son fundamentales para paliar los efectos nocivos de los GEI, debe existir una política global de uso de nuevas tecnologías para producir energías más limpias, mejor gestión y conservación de los recursos naturales, así como una modificación sustancial en las políticas sociales, las actitudes y el comportamiento de las personas para poder lograr la eficiencia energética y el desarrollo sostenible.

“Somos la primera generación en sentir los efectos del cambio climático, y la última que puede hacer algo al respecto para detenerlo”
-B. Obama

BIBLIOGRAFÍA

- AEMET (2015). *Olas de calor en España desde 1975*. Área de Climatología y Aplicaciones Operativas, Agencia Española de Meteorología.
- Agencia Estatal de Meteorología [AEMET]. 2021. *La concentración de dióxido de carbono alcanza niveles récord pese a la reducción de emisiones causada por la pandemia*. Gobierno de España. http://www.aemet.es/es/noticias/2021/06/Record_concentraciones_co2_2021
- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2021) *El suelo, la tierra y el cambio climático*. <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2019/articulos/el-suelo-la-tierra-y>
- Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E. J., Smith, P., & Haines, A. (2016). The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: a systematic review. *PloS one*, 11(11), e0165797.
- Alonso-Pérez, S., Cuevas, S., Pérez, C., Querol, J.M., Baldasano, Draxler, R. & De Bustos, J.J. (2011). *Trend changes of African air mass intrusions in the marine boundary layer over the subtropical Eastern North Atlantic region in Winter*. *Tellus*, 63 (2), 255-265.
- Álvarez Gallego, S. (Coord.), Rubio Sánchez, A. & Rodríguez Olalla, A. (2021). *Conceptos básicos de la huella de carbono (2a. ed.)*. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
- Antequera, P. D., Díez, A. L., & Pacheco, J. S. D. (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. El caso de Canarias. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro. *Cuadernos Geográficos*, 57(2), 27-52. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>
- Antequera, P. D., Pacheco, J. D., & Díez, A. L. (2021). Fenómenos inestables de origen tropical en el Atlántico norte suroriental. *Inundaciones y sequías: Análisis multidisciplinar para mitigar el impacto de los fenómenos climáticos extremos* (pp. 127-146). Universitat d'Alacant/Universidad de Alicante.
- Arechavaleta, M., Rodríguez, S., Zurita, N., y García, A. (2010). *Lista de especies silvestres de Canarias. Hongos, plantas y animales terrestres*. 2009. Gobierno de Canarias, Tenerife.

- Aristizábal-Alzate, C., González-Manosalva, J., & Gutiérrez-Cano, J. (2020). Análisis del ciclo de vida y cálculo de la huella de Carbono para un proceso de reciclaje de botellas PET en Medellín (ANT). *Producción + Limpia*, 15 (1).
- Banda García, I. (2012) Guía de cambio climático y huella de carbono desde la perspectiva de género. Reduciendo nuestra Huella de Carbono. *Proyecto Huella de Carbono, Género y Soluciones Locales*. Asociación Red de Dinamizadoras de Consumo Responsable y Alimentación Ecológica.
https://www.academia.edu/7970659/Cambio_clim%C3%A1tico_y_Huella_de_Carbono_con_Perspectiva_de_G%C3%A9nero
- Bramwell, D. (2019). *El cambio climático y las Islas Canarias*. Madrid: Mercurio Editorial.
- Budyko, M (1972). *The future Climate*. *Eos, Transactions American Geophysical Union*,53(10), 868-874.
- Charney, J.G. (1979). *Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment*. National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Chavarría Solera, F. (2016). Medición de la huella de carbono de la Universidad Nacional de Costa Rica para el periodo 2012-2014. Rumbo a la carbono neutralidad. Universidad Nacional de Costa Rica.
- CO2.Earth. (2022). *CO2 Acceleration*. <https://www.co2.earth/co2-acceleration>
- Coinc (s .n.) (2015, 30 de junio). *¿Cuál es el consumo medio de electricidad en España?*. Coinc. <https://www.coinc.es/blog/noticia/consumo-medio-electricidad-hogar>
- Consejería de Hacienda. *Unifica: Exportación de ficheros EIEL*. Gobierno de Canarias. <https://www.gobiernodecanarias.org/hacienda/unifica/eell/Publico/ShapeExport.aspx>
- Cropper, T. & Hanna, E. (2014). *An analysis of climate of Macaronesia, 1865-2012*. *International Journal of Climatology*, 34 (3), 604-622.
- Dirección Insular de Seguridad Cabildo de La Palma (s.f.). Plan Insular de Actuación frente al riesgo Volcánico (PAIV).

- Dorta, P., Díaz, J., & López, A., (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. El caso de Canarias. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro. *Cuadernos Geográficos*, 57(2), 27-52.
- Espíndola, C. & Valderrama, J. O. (2018). *Huella del carbono: cambio climático, gestión sustentable y eficiencia energética*. Editorial ebooks Patagonia. Editorial Universidad de La Serena.
- Fernández-Palacios, J. M., De Nascimento, L., Otto, R., Delgado, J. D., García-del-Rey, E., Arévalo, J. R., y Whittaker, R. J. (2011). *A reconstruction of Palaeo-Macaronesia, with particular reference to the long-term biogeography of the Atlantic island laurel forests*. *Journal of Biogeography*, 38(2), 226-246.
- Fragoso, M., Trigo, R.M., Pinto, J.G., Lopes, D., Ulbrich, S., & Magro, C. (2012). The 20 February 2010 Madeira flash-floods: synoptic analysis and extreme rainfall assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 715-730.
- Gallego, S. Á. (2021). *Serie Huella de carbono. Volumen 4: Gestión de la huella de carbono (2a. ed.)*. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)
- García Sánchez, F. J. (2019) Planeamiento urbanístico y cambio climático: la infraestructura verde como estrategia de adaptación. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 122, 1-101.
- Generalitat de Catalunya Comisión Interdepartamental del Cambio Climático (2011). Guía práctica para el cálculo de emisiones de efecto invernadero (GEI). <https://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>
- 1
- GESPLAN S.A. (2010) Plan Insular de Ordenación de La Palma. Memoria de Información. Cabildo La Palma. URL
- GESPLAN S.A. (2021). *Plan General de Ordenación Fuencaliente*. (Memoria Informativa inédita). Ayuntamiento de Fuencaliente. La Palma.
- Gibbs, W. J. (1975). Drought-its definition, delineation and effects. Drought. Lectures presented at the twenty-sixth session of the WMO Executive Committee., 1-39.

- Gobierno de las Islas Baleares, 2022. <https://www.caib.es/govern/index.do?lang=es>
- Green Development. (s.f.). *Huella de carbono, protocolo de medición y su importancia*. <https://greendevlopment.com.gt/en/huella-de-carbono-protocolo-de-medicion-y-su-importancia/>
- Guijarro, J.A., Conde, J., Campins, J., Picornell, M.A. y Orro, M.L. (2014). Tendencias de viento, oleaje y temperatura superficial Mediterráneo y Atlántico próximos a partir de datos de reanálisis. En: Fernández-Montes, S. y Rodrigo, F.S. (Eds.): *Cambio climático y cambio Global. Asociación Española de Climatología*, Serie A, 9, 315-324.
- Herce Vallejo, M. (2011). *Infraestructuras y medio ambiente II: gestión de los recursos, de las emisiones y de los residuos urbanos*. Editorial UOC.
- Hernández Moreno, S., Hernández Moreno, J. A. & Al Caraz-Vargas, B. G. (2019). “Planeación de bajo carbono de megalópolis en México”. *Bitácora Urbano Territorial*, 29 (2): 49-58. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n2.69015>
- Hernández, W., Dóniz, J., Hernández, P. A., & Pérez, N. M. (2022). *Volcanic geomorphosites, places of geotouristic interest and geo-routes in La Palma (Canary, Spain)* (N.º EGU22-8057). EGU22. Copernicus Meetings. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-8057>
- Iberdrola. (s.f) *Consecuencias del efecto invernadero*. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/consecuencias-efecto-invernadero>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2018). Descripción geológica de La Palma*. https://www.ign.es/web/resources/sismologia/tproximos/sismotectonica/pag_sismotectonicas/can_la_palma.html
- Instituto Nacional de Estadística [INE], 2022, *Nomenclátor: Población del Padrón Continuo por unidad poblacional*.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

- IPCC, 2020. El océano y la criosfera en un clima cambiante. Informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Pörtner, H., Masson-Delmotte, V., Roberts, D., Zhai, P. (eds)]. IPCC, Suiza.
- IPCC. 2022. Emissions trends and drivers. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*.
https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_Chapter02.pdf
- López Bernal, O. & López Valencia, A. P. (2015). *Diseño urbano adaptativo al cambio climático*. Programa Editorial Universidad del Valle.
- López Díez, A., Díaz Pacheco, J., & Dorta Antequera, P. (2020) Islas, turismo y cambio climático. *Okeanos*. 106-110.
- Lopez Diez, A., Máyer Suárez, P., Díaz Pacheco, J., & Dorta Antequera, P. (2019). *Rainfall and flooding in coastal tourist áreas of the Canary Islands (Spain)*. *Atmosphere*, 10(12), 809.
- López Díez, A. (2020). Cambio climático y fenómenos meteorológicos extremos en la Macaronesia. Evaluación, adaptación y resiliencia. [Tesis doctoral, Universidad de La Laguna]. RIULL. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/22132>
- López, A., Dorta, P., Febles, M., & Díaz, J. (2016). Los procesos de adaptación al cambio climático en espacios insulares. *X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*, 536 – 543.
- Luque, A., Martín, J., Dorta P. y Mayer, P. (2014). *Temperature Trends on Gran Canaria (Canary Islands). An Example of Global Warming over the Subtropical Northeastern Atlantic*. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4(1), 20-28.
- Macaronesia. Evaluación, adaptación y resiliencia. [Tesis doctoral, Universidad de La Laguna]. RIULL. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/22132>
- Marcos, M., Puyol, B., Calafat, F. M., y Woppelmann, G. (2013). Sea level changes at Tenerife Island (NE Tropical Atlantic) since 1927. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(10), 4899-4910.

- Mariel Paris, M., Civit, B., & Corica, L. (2020). Valoración económica de los impactos ambientales por el uso del suelo con enfoque de ciclo de vida: estado del arte. *Ambiente Construido*, 20, 367-383.
- Mariel, M., Civit, B., & Corica, L., (2020). Economic assessment of the environmental impacts of land use through the life cycle assessment approach: state of art. *Ambiente Construido*, 20, (2) <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000200404>
- Máyer P; Marzol, M.V. & Parreño, J.M. (2017). Precipitation trends and daily precipitation concentration index for the mid-eastern Atlantic (Canary Islands, Spain), *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 43.
- Mendiara Co, S. (2012) *Efecto de los usos del suelo en la emisión de dióxido de carbono del suelo a la atmósfera en un agroecosistema semiárido del Valle de Ebro*. (Trabajo de Fin de Grado, Universitat de Vic) <http://dspace.uvic.cat/handle/10854/1889>
- Olcina Cantos, J. & Martín Vide, J. (1999). La influencia del clima en la historia. Madrid. Ed. Arco Libros.
- Orellana, P. (2020, febrero 14). *Eduardo Jiménez Munné: La huella de carbono: Los ciudadanos asesinos*. El Líbero. <http://ellibero.cl/opinion/el-libertino/la-huella-de-carbono-los-ciudadanos-asesinos/>
- Pérez de La Paz, P. L..INMACAN S.L. (1999) *Memoria Ambiental. Plan General de Ordenación Urbana*. Fuencaliente. <https://docplayer.es/75296705-Memoria-ambiental-plan-general-de-ordenacion-urbana-ayuntamiento-de-fuencaliente-la-palma-director-dr-pedro-l-perez-de-paz.html>
- Pérez, B., Payo, A., López, D., Woodworth, P. L., & Alvarez Fanjul, E. (2014). Overlapping sea level time series measured using different technologies: an example from the REDMAR Spanish network. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(3), 589-610.
- Qin, B., & Han, S. S. (2013). Planning parameters and household carbon emission: Evidence from high-and low-carbon neighborhoods in Beijing. *Habitat International*, 37, 52-60.

Resolución conjunta de los Ministerios de Industria, Energía y Turismo, y Ministerio de Fomento. (Aplicación a partir de: 14 de enero de 2016) Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España. [Documento Reconocido del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)].

Rodríguez Olalla, A. & Álvarez Gallego, S. (2016). *Gestión de la huella de carbono*. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

Romero Ruiz, C. (1990). Las manifestaciones volcánicas históricas del Archipiélago Canario [Tesis doctoral, Universidad de La Laguna]. RIULL. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/10113>

Ruiz, J. M., & Escribano, I. M. O. (2012). Implantación de energías renovables y estimación de la huella de carbono en el municipio de Blanca (Murcia). *Papeles de Geografía*, (55-56), 121-135.

Sawyer, J. S. (1972). *Man-made carbon dioxide and the "greenhouse" effect' by the eminent atmospheric scientist*. *Nature*, 239, 23-26.

Semarnat, Dirección General de Estadística e Información Ambiental. (2008). *Compendio de estadísticas ambientales 2008*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_2008/compendio_2008/compendio_2008/10.100.8.236_8080/ibi_apps/WFServlet1bdc.html

Strauss, B. H., Kulp, S., & Levermann, A. (2015). Carbon choices determine US cities committed to futures below sea level. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(44), 13508-13513.

ULL Noticias. (2021, noviembre 24). *Sebastián Delgado: "Canarias consume unos 20 litros de agua/día por persona más que el resto del país"*. <https://www.ull.es/portal/noticias/2021/sebastian-delgado-canarias-consume-unos-20-litros-de-agua-dia-por-persona-mas-que-el-resto-del-pais/>

- Villasur, S. (2022, 27 de mayo) *Precio de kWh por metro cuadrado: ¿cuánto voy a pagar?* Roams Energía. <https://energia.roams.es/luz/precio-kwh-metro-cuadrado>
- Vleeshouwers, L. M., & Verhagen, A. (2002). Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global change biology*, 8(6), 519-530.
- Wang, G., & Han, Q. (2019). Assessment of the relation between land use and carbon emission in Eindhoven, the Netherlands. *Journal of environmental management*, 247, 413-424.
- Wang, G., Han, Q., & De Vries, B. (2019) Assessment of the relation between land use and carbon emission in Eindhoven, the Netherlands. *Journal of Environmental Management*, 247, 413-424.
- Yanes Luque, A., Rodríguez-Báez, J. A., Máyer Suárez, P., Dorta Antequera, P., López-Díez, A., Díaz-Pacheco, J., & Pérez-Chacón, E. (2021). Marine storms in coastal tourist areas of the Canary Islands. *Natural Hazards*, 109(1), 1297-1325.
- Zubelzu, S., & Álvarez, R. (2015). Urban planning and industry in Spain: A novel methodology for calculating industrial carbon footprints. *Energy Policy*, 83, 57-68.