

	EVALUACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN LAS ISLAS CANARIAS	CALIDAD AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES
ARTICULO INVESTIGACIÓN	Raúl Althay Lorenzo Quijada*, Sebastián Ovidio Pérez Báez, Alejandro Ramos Martín, Beatriz del Río Gamero, Jenifer Vaswani Reboso, Harue Hernández-Zerpa	CALIDAD AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN LAS ISLAS CANARIAS

EVALUATION OF THE CARBON FOOTPRINT IN THE TREATMENT OF URBAN WASTEWATER IN THE CANARY ISLANDS (SPAIN)

Raúl-Althay Lorenzo-Quijada*, Sebastián-Ovidio Pérez-Báez, Alejandro-Ramos Martín, Beatriz de- Río-Gamero, Jenifer Vaswani-Reboso, Harue Hernández-Zerpa

Calidad Ambiental y Recursos Naturales. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (Spain)

Recibido: 14/dic./2023 - Evaluando: 22/dic./2023- Aceptado: 22/abr./2024 – DOI: <https://doi.org/10.6036/ES11146>

To cite this article: LORENZO-QUIJADA, Raul, PEREZ-BAEZ, Sebastian Ovidio, RAMOS-MARTIN, Alejandro et al. EVALUATION OF THE CARBON FOOTPRINT IN THE TREATMENT OF URBAN WASTEWATER IN THE CANARY ISLANDS (SPAIN). DYNA Energía y Sostenibilidad, Jan.-Dec. 2024, vol. 13, n. 1, DOI: <https://doi.org/10.6036/ES11146>

ABSTRACT:

Wastewater treatment plants are important to protect water and human health from pollution caused by human activities. However, these processes can also have negative impacts on the environment. Footprint assessment has been used to study how treatment plants affect the environment and evaluate their sustainability. Carbon footprint, as well as other footprints such as nitrogen and phosphorus, have been investigated to assess water pollution. The advantages and disadvantages of these assessments were discussed and suggestions for improvement were proposed. Critical research points for future studies were identified, focusing on the relationship between water, carbon, and energy. The ultimate goal of the study is to reduce the carbon footprint, both in direct and indirect emissions, using new tools and methods.

Key Words: Footprint; Waste water; Canary Islands

RESUMEN:

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son importantes para proteger el agua y la salud humana de la contaminación causada por actividades humanas. Sin embargo, estos procesos también pueden tener impactos negativos en el medio ambiente. Se ha utilizado la evaluación de la huella para estudiar cómo las plantas de tratamiento afectan al medio ambiente y evaluar su sostenibilidad. Se investigó la huella de carbono, así como otras huellas como las de nitrógeno y fósforo para evaluar la contaminación de cuerpos de agua. Se discutieron las ventajas y desventajas de estas evaluaciones y se propusieron sugerencias para mejorarlas. Se identificaron puntos críticos de investigación para futuros estudios, centrándose en la relación entre agua, carbono y energía. El objetivo final del estudio es reducir la huella de carbono, tanto en emisiones directas como indirectas, utilizando nuevas herramientas y métodos.

Palabras Clave: Huella de Carbono; Agua Residual; Islas Canarias

	EVALUACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN LAS ISLAS CANARIAS	CALIDAD AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES
ARTICULO INVESTIGACIÓN	Raúl Althay Lorenzo Quijada*, Sebastián Ovidio Pérez Báez, Alejandro Ramos Martín, Beatriz del Río Gamero, Jenifer Vaswani Reboso, Harue Hernández-Zerpa	CALIDAD AMBIENTAL

1.INTRODUCCIÓN

La Huella de Carbono (HC) mide las emisiones de gases de efecto invernadero causadas por actividades humanas. Las plantas de tratamiento de aguas residuales son grandes generadoras de gases de efecto invernadero[1-2-3-4]]. Según el IPCC, representan el 3% de las emisiones globales. Se seguirá la norma UNE-EN ISO 14064-1:2019[14] para calcular la producción de carbono en las unidades funcionales. Se consideran tres alcances: directas, indirectas de energía y otras indirectas. Se detallan las características de la zona de estudio, el proceso de depuración, la metodología de cálculo y los resultados. Se buscará mitigar la huella de carbono [5-6-7-8-9-10].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ESTUDIO DE ÁREA

Las Islas Canarias forman parte de España y la Unión Europea. Están compuestas por siete islas principales divididas en dos provincias con una población total de más de dos millones de habitantes. También incluyen seis islotes volcánicos en el norte. La superficie total del archipiélago es de 7.446 km² en un área marítima de aproximadamente 100.000 km² [14-15-16-17-18-19], como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Superficie de cada isla, así como altitud máxima. (Fuente: ISTAC [20])

Island	Superficie (km ²)	Maximum Altitude (m.)
Lanzarote	845,94	671 (Peñas del Chache)
Fuerteventura	1.659,74	807 (Jandía)
Gran Canaria	1.560,10	1.949 (Pico de Las Nieves)
Tenerife	2.034,38	3.718 (Teide)
La Gomera	369,76	1.487 (Garajonay)
La Palma	708,32	2.423 (Roque de Los Muchachos)
El Hierro	268,71	1.501 (Malpaso)

Los datos demográficos de cada isla se presentan a continuación, indicando que el comportamiento del crecimiento poblacional no es homogéneo en todas las islas, como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2: Distribución de la población por islas (Fuente: Instituto Canario de Estadística e Instituto Nacional de Estadística.

	2021	2020	2000	Incremento 2000-2020
CANARIAS	2.172.944	2.175.952	1.716.276	26,8
LANZAROTE	156.189	155.812	96.310	61,8
FUERTEVENTURA	119.662	119.732	60.124	99,1
GRAN CANARIA	852.688	855.521	741.161	15,4
TENERIFE	927.993	928.604	709.365	30,9
LA GOMERA	21.734	21.678	18.300	18,5
LA PALMA	83.380	83.458	82.483	1,2
EL HIERRO	11.298	11.147	8.533	30,6

En Canarias existen un total de 158 plantas depuradoras de aguas residuales, distribuidas en las diferentes islas como se indica en la siguiente tabla 3:

	EVALUACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN LAS ISLAS CANARIAS	CALIDAD AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES
ARTICULO INVESTIGACIÓN	Raúl Althay Lorenzo Quijada*, Sebastián Ovidio Pérez Báez, Alejandro Ramos Martín, Beatriz del Río Gamero, Jenifer Vaswani Reboso, Harue Hernández-Zerpa	CALIDAD AMBIENTAL

Tabla 3: Número de depuradoras en Canarias Fuente:

Isla	Número de estaciones
Gran Canaria	57
Tenerife	36
Lanzarote	12
Fuerteventura	36
La Palma	7
La Gomera	6
El Hierro	4

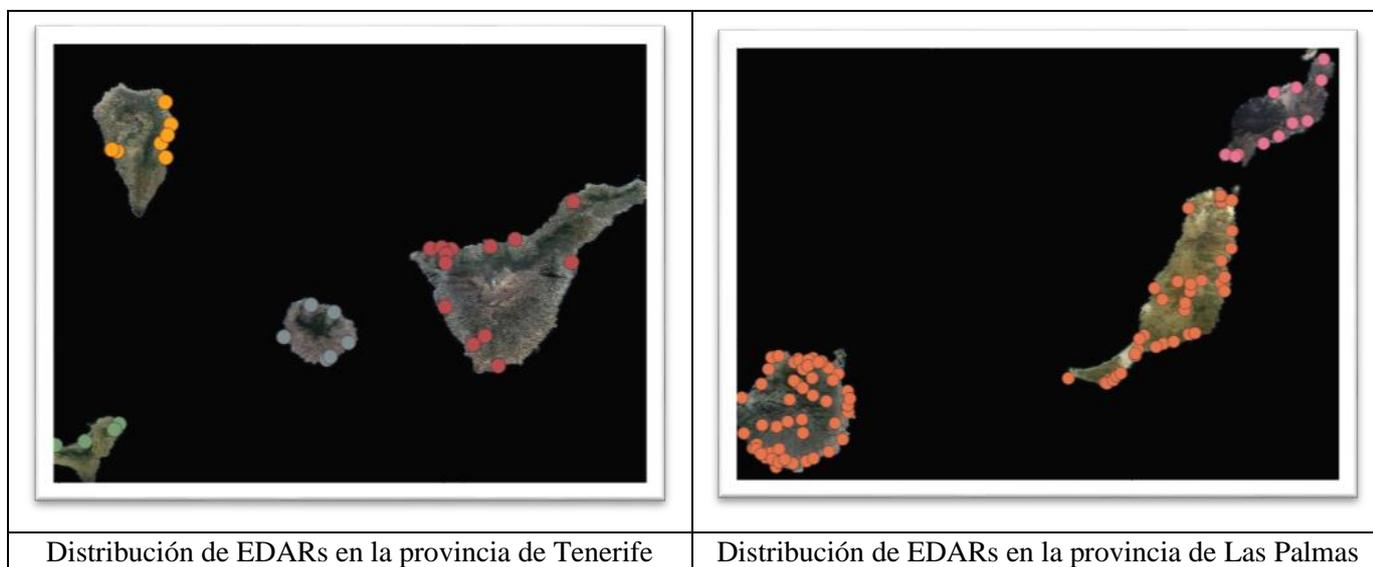


Figura 3. Ubicaciones de EDAR en el archipiélago canario

El volumen de aguas residuales tratadas en Canarias ascendió a 282.590 m³/d en el año 2018, de las cuales sólo aproximadamente el 22% fue regenerada para su reutilización en el sector agrícola (ISTAC) [20].

En cuanto a la gestión de las EDAR, el 79% son gestionadas por Servicios Municipales o por los Cabildos Insulares de cada isla, mientras que el resto corresponde a entidades privadas del sector hotelero o plantas de tratamiento de residuos industriales.

2.2 PROCESOS DE PURIFICACIÓN

Con carácter general, en Canarias los vertidos de aguas se realizan a la red de saneamiento, sin superar los valores máximos permitidos en los diferentes Planes Hidrológicos de cada isla, que se muestran en la Tabla 4.

	EVALUACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN LAS ISLAS CANARIAS	CALIDAD AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES
ARTICULO INVESTIGACIÓN	Raúl Althay Lorenzo Quijada*, Sebastián Ovidio Pérez Báez, Alejandro Ramos Martín, Beatriz del Río Gamero, Jenifer Vaswani Reboso, Harue Hernández-Zerpa	CALIDAD AMBIENTAL

Table 4. Limitar la concentración de los parámetros de calidad de las aguas residuales.

Concentración(mg/l)			
DBO (Demanda Biológica)	1000	Cloruros	300
pH	5.5-5.9	Sulfitos	2
DQO (Demanda Química)	1600	Sulfatos	350
Temperatura	45°C	Fosfatos totales	10
Sólidos en Suspensión	1200	Amonio	50
Aceites y Grasas	500	Nitrógeno Nítrico	20

La EDAR trata el agua residual para eliminar contaminantes y devolverla al sistema de alcantarillado. Se utiliza un proceso anaeróbico para estabilizar los lodos generados, los cuales son tratados adicionalmente para su deshidratación.

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este artículo se divide en los siguientes apartados:

- A) Protocolo de Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) para el cálculo de la Huella de Carbono de las EDAR
- B) Clasificación de las EDAR
- C) Datos de cálculo

3.1 PROTOCOLO IPCC

La metodología del IPCC sienta las bases de la mayoría de los documentos antes mencionados y consta de una gran diversidad de valores y datos técnicos evaluados por comisiones de expertos. Estos valores de datos son especialmente necesarios para su aplicación en las Islas Canarias debido a la ausencia de información sobre este sector en el territorio local [15], tal y como muestra la tabla 5.

Table 5. Metodologías utilizadas para el cálculo de gases de efecto invernadero

Metodología	Ventajas	Desventajas
LGO	Metodología de arriba hacia abajo Acceso gratuito y fácil uso. Proporciona varias formas de cálculo que le permiten ser más preciso dependiendo de la disponibilidad de datos específicos del sitio.	Enfoques del IPCC y la USEPA Conjunto estandarizado de directrices para ayudar a los gobiernos locales de EE. UU.
USEPA	Diferentes niveles de requisitos, rigor y precisión de los datos Acceso gratuito y fácil de usar.	Estimaciones a nivel nacional y estatal utilizando la base del IPCC Método más apropiado para el estado de California.
NERP	Metodología de arriba hacia abajo Acceso gratuito y fácil de usar.	La metodología sigue las directrices del IPCC y la guía de buenas prácticas del IPCC. No proporciona una base de datos operativa predeterminada. Datos específicos del país sobre el factor de emisión de N ₂ O directo
IPCC	Reconocido internacionalmente Básico para protocolos posteriores Metodología de arriba hacia abajo Diseñado para evaluaciones a macro escala Gran aporte de datos revisados.	No utiliza información específica de la instalación.

	EVALUACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN LAS ISLAS CANARIAS	CALIDAD AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES
ARTICULO INVESTIGACIÓN	Raúl Althay Lorenzo Quijada*, Sebastián Ovidio Pérez Báez, Alejandro Ramos Martín, Beatriz del Río Gamero, Jenifer Vaswani Reboso, Harue Hernández-Zerpa	CALIDAD AMBIENTAL

Se utiliza el modelo de Emisiones de Carbono del IPCC para evaluar las emisiones de carbono de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Se combina información sobre las actividades humanas con coeficientes de emisión para calcular las emisiones. La huella de carbono se divide en emisiones directas e indirectas, que incluyen gases como el óxido nítrico y metano liberados en las plantas.

3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS EDAR

Para poder clasificar las diferentes plantas depuradoras de aguas residuales en Canarias, se considerará el sistema utilizado en cada una de ellas. Dado que existen diferentes tamaños de estas plantas en todas las islas, se han establecido unos rangos para poder categorizarlas, los cuales se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6: Los rangos de clasificación

	Muy pequeña <10.000 H.E.	Pequeña 10.000-50000 H.E.	Mediana 50.000- 100000 H.E.	Grande 10.000 H.E.<
CANARIAS				
LANZAROTE	50%	33,3%	16,7%	-
FUERTEVENTURA	44,44%	55,55%	-	-
GRAN CANARIA	61,54%	19,23%	7,69%	19,23%
TENERIFE	74,28%	14,28%	5,71%	5,71%
LA GOMERA	100%	-	-	-
LA PALMA	100%	-	-	-
EL HIERRO	100%	-	-	-

Existe una gran diferencia entre los sistemas tecnológicos de las depuradoras pequeñas y grandes. Las plantas de tratamiento de aguas residuales pequeñas y medianas suelen carecer de sistemas de control de aireación. Además, el diseño, basado en la robustez mecánica, implica un cierto sobredimensionamiento de los equipos electromecánicos. Por lo tanto, el consumo unitario en tales depuradores es relativamente alto.

3.3. DATOS DE CÁLCULO

Para la realización de los cálculos se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

El CO₂ en tratamiento de aguas residuales es natural, pero el metano y el óxido nítrico son gases de efecto invernadero. Las plantas mal diseñadas producen metano. Las fuentes de óxido nítrico son la nitrificación y desnitrificación en la Decantación Secundaria. El inventario considera las emisiones de N₂O de estas etapas, así como de metano y óxido nítrico en el tratamiento de lodos, excluyendo el biogás en la mayoría de las plantas.

3.3.1. EMISIONES DIRECTAS

Las aguas residuales pueden producir metano y óxido nítrico debido a la acción de bacterias en el proceso de tratamiento. Las emisiones se dividen en dos categorías: procesos de tratamiento de agua y emisiones de lodos. Se calculan las emisiones de CO₂ y CH₄ a partir de la eliminación de la demanda biológica de oxígeno, y las emisiones de óxido nítrico a partir de la eliminación total de nitrógeno.

La emisión de CH₄ producida por la degradación anaeróbica y su cuantificación, es función del contenido de materia orgánica degradable del agua residual, así como de la temperatura y tipo de tratamiento. Los principales factores de emisiones empíricos utilizados para calcular las emisiones directas comprenden FE N₂O = 0,016 kg N₂O/kg. Para calcular las emisiones directas de N₂O de los procesos de tratamiento de aguas residuales (IPCC,2019), FE CH₄ = 0,0025 kg CH₄ /kg. Para calcular las emisiones directas de CH₄ en el proceso de lodos activados.

	EVALUACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN LAS ISLAS CANARIAS	CALIDAD AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES
ARTICULO INVESTIGACIÓN	Raúl Althay Lorenzo Quijada*, Sebastián Ovidio Pérez Báez, Alejandro Ramos Martín, Beatriz del Río Gamero, Jenifer Vaswani Reboso, Harue Hernández-Zerpa	CALIDAD AMBIENTAL

$$\text{CO}_2 = \text{FE} * \text{MBOD}, i \quad (3)$$

$$\text{CH}_4 = \text{FE} * \text{MBOD} \quad (4)$$

$$\text{N}_2\text{O} = \text{FE} + \text{TM} \quad (5)$$

Para mayor aportación de datos se adjunta anexo de tablas de las estaciones depuradoras de agua de cada isla con los diferentes parámetros:

Table 7: EMISIONES DIRECTAS DE LAS EDAR'S EN LA ISLA DE GRAN CANARIA

EDAR GRAN CANARIA	CAUDAL H.E.	POBLACION DE DISEÑO H.E.	M3/ DÍA MEDIO POR PERSONA	CAUDAL EN M3/DÍA (0,2)	CONSUMO DEPURACIÓN MEDIA 0,5 KWH/m ³	CONSUMO EN DEPURACIÓN(KW/h e.)	CONSUMO CON FACTOR ACTUALIZADO 0,615CO/KWH	TOTAL
BARRANCO SECO I	10.000	130.000	0,2	2.000	0.5	1.000	0.615	615
BARRANCO SECO II	200.749	600.000	0,2	40.149,8	0.5	20.075	0,615	12.346,0635
SURESTE(AGÜIMES)	134.000	150.000	0,2	26.800	0.5	13.400	0,615	8.241
EL TABLERO (SBT)	64.941	100.000	0,2	12.988,2	0.5	6.494	0,615	3.993,8715
TELDE(HOYA DEL POZO)	80.000	100.000	0,2	16.000	0.5	8.000	0,615	4.920
JINAMAR (TELDE)	42.335	50.000	0,2	8.467	0.5	4.234	0,615	2.603,6025
ARGUINEGUIN (MOGAN)	11.502	30.000	0,2	2.300,4	0.5	1.150	0,615	707,373
GUIA-GALDAR	31.481	30.000	0,2	6.296,2	0.5	3.148	0,615	1.936,0815
MOTOR GRANDE(ARUCAS)	25.247	20.000	0,2	5.049,4	0.5	2.525	0,615	1.552,6905
MOGAN PLAYA	7.150	20.000	0,2	1.430	0.5	715	0,615	439,725
TAMARACEITE	5.191	13.600	0,2	1.038,2	0.5	519	0,615	319,2465
SAN NICOLAS	7.372	10.000	0,2	1.474,4	0.5	737	0,615	453,378
TEROR	9.647	10.000	0,2	1.929,4	0.5	965	0,615	593,2905
PLAYA DEL CURA(MOGAN)	2.600	10.000	0,2	520	0.5	260	0,615	159,9
AGAETE	5.626	7.000	0,2	1.125,2	0.5	563	0,615	345,999
TENOYA	6.884	6.800	0,2	1.376,8	0.5	688	0,615	423,366
VALSEQUILLO	8.400	6.000	0,2	1.680	0.5	840	0,615	516,6
FIRGAS	4.457	60.000	0,2	891,4	0.5	446	0,615	274,1055

EL FONDILLO(SA SNTA BRIGIDA)	5.257	6.000	0,2	1.051,4	0.5	526	0,615	323,3055
GANDO	3.947	5.000	0,2	789,4	0.5	395	0,615	242,7405
BANADEROS(A RUCAS)	4.871	5.000	0,2	974,2	0.5	487	0,615	299,5665
CABO VERDE	4.131	5.000	0,2	826,2	0.5	413	0,615	254,0565
SAN MATEO	6.500	5.000	0,2	1.300	0.5	650	0,615	399,75
TAURITO(MOG AN)	3.300	3.500	0,2	660	0.5	330	0,615	202,95
BARRANCO VERGA	3.000	3.000	0,2	600	0.5	300	0,615	184,5
BAHIA FELIZ(SBT)	3.284	2.560	0,2	656,8	0.5	328	0,615	201,966
VALORES TOTALES	681.872	1.258,46 0				69.187		42.550,128

Table 8: EMISIONES DIRECTAS EDAR'S TENERIFE

EDAR TENERIFE	CAUDAL H.E.	POBLACION DE DISEÑO H.E.	M3/ DÍA MEDIO POR PERSONA	CAUDAL EN M3/DÍA (0,2)	CONSUMO DEPURACIÓN MEDIA 0,5 KWH/m³	CONSUMO EN DEPURACIÓN (kW/he.)	CONSUMO CON FACTOR ACTUALIZADO 0,620 CO/KWH	TOTAL
ADEJE-ARONA	238.333	200.000	0	47.667	0,5	23833,3	0,62	14.776,646
BUENOS AIRES(SCT)	463.147	166.666	0	92.629	0,5	46314,7	0,62	28.715,114
VALLE DE LA OROTAVA(PUERTO LA CRUZ)	72.548	60.000	0	14.510	0,5	7254,8	0,62	4.497,976
NOROESTE(LA LAGUNA)	63.516	14.583	0	12.703	0,5	6351,6	0,62	3.937,992
GOLF DEL SUR	21.574	6.300	0	4.315	0,5	2157,4	0,62	1.337,588
GARACHICO	3.903	6.000	0	781	0,5	390,3	0,62	241,986
AEROPUERTO TF SUR GARABOTO	6.041	6.000	0	1.208	0,5	604,1	0,62	374,542
BUENAVISTA DEL NORTE	2.574	4.000	0	515	0,5	257,4	0,62	159,588
AMARILLA GOLF	2.433	0	0	487	0,5	243,3	0,62	150,846
ETAR DE LOS SILOS	3.248	0	0	650	0,5	324,8	0,62	201,376
ETAR DE ACORAN(SCT)	4.402	0	0	880	0,5	440,2	0,62	272,924
SAN MIGUEL(GRANADILLA)	2.450	0	0	490	0,5	245	0,62	151,9
ETAR DE PUNTA BLANCA(GUIA DE ISORA)	1.988	0	0	398	0,5	198,8	0,62	123,256
ETAR DE PUERTO DE	12.539	0	0	2.508	0,5	1253,9	0,62	777,418

SANTIAGO(SANTIAGO DEL TEIDE)									
ETAR LOS GIGANTES(SANTIAGO DEL TEIDE)	4.546	0	0	909	0,5	454,6	0,62	281,852	
ETAR DE SAN ANDRES(SCT)	4.618	0	0	924	0,5	461,8	0,62	286,316	
ETAR DE SUEÑO AZUL(ADEJE)	9.750	0	0	1.950	0,5	975	0,62	604,5	
ETAR DE AÑAZA(SCT)	6.603	0	0	1.321	0,5	660,3	0,62	409,386	
ETAR DE TABAIBA	4.611	0	0	922	0,5	461,1	0,62	285,882	
COMPLEJO AMBIENTAL DE ARICO	7.916	0	0	1.583	0,5	791,6	0,62	490,792	
PARQUE LA REINA(ARONA)	3.283	0	0	657	0,5	328,3	0,62	203,546	
COSTA DEL SILENCIO(ARONA)	14.640	0	0	2.928	0,5	1464	0,62	907,68	
LAS GALLETAS(ARONA)	6.986	0	0	1.397	0,5	698,6	0,62	433,132	
ETAR DE CALETILLAS(CANDELARIA)	2.442	0	0	488	0,5	244,2	0,62	151,404	
ETAR DE SAN BLAS(CANDELARIA)	9.610	0	0	1.922	0,5	961	0,62	595,82	
ETAR PUNTA LARGA(CANDELARIA)	9.446	0	0	1.889	0,5	944,6	0,62	585,652	
ETAR LOS ABRIGOS	4.087	0	0	817	0,5	408,7	0,62	253,394	
ETAR DEL POL.IND.GRANADILLA	2.931	0	0	586	0,5	293,1	0,62	181,722	
ETAR ENSENADA PELADA	21.900	0	0	4.380	0,5	2190	0,62	1357,8	

GUIA DE ISORA	6.688	0	0	1.338	0,5	668,8	0,62	414,656
ETAR DE LOS TARAJALES(GUIMAR)	9.796	0	0	1.959	0,5	979,6	0,62	607,352
PUNTA DEL HIDALGO(LA LAGUNA)	7.143	0	0	1.429	0,5	714,3	0,62	442,866
ETAR PLAYA SAN JUAN	11.794	0	0	2.359	0,5	1179,4	0,62	731,228
ETAR RADAZUL	9.593	0	0	1.919	0,5	959,3	0,62	594,766
ETAR POL.IND.GUIMAR(A RAFO)	9.136	0	0	1.827	0,5	913,6	0,62	566,432
VALORES TOTALES	1.066.215	463.549				106.621,5		66.105,33

Table 9: EMISIONES DIRECTAS EDAR'S LANZAROTE

EDAR LANZAROTE	CAUDA L H.E.	POBLACION DE DISEÑO H.E.	M3/ DÍA MEDIO POR PERSONA	M3/ DÍA MEDIO POR PERSONA	CONSUMO DEPURACIÓN MEDIA 0,5 KWH/m³	CONSUMO EN DEPURACIÓN (kW/h.e.)	CONSUMO CON FACTOR ACTUALIZADO 0,689 CO/KWH	TOTAL
ARRECIFE	52.600	60.000	0	10.520	0,5	5.260	0,689	3.624,14
TIAS	33.000	60.000	0	6.600	0,5	3.300	0,689	2.273,7
COSTA TEGUISE	30.100	20.000	0	6.020	0,5	3.010	0,689	2.073,89
PAPAGAYO(YAIZA)	0	9.960	0	0	0,5	0	0,689	0
PLAYA BLANCA(YAIZA)	15.260	9.000	0	3.052	0,5	1526	0,689	1.051,414
HARIA	4.000	2.250	0	800	0,5	400	0,689	275,6
MONTAÑA ROJA(YAIZA)	0	2.000	0	0	0,5	0	0,689	0

LA SANTA(TINAJA)	2.000	2.500	0	400	0,5	200	0,689	137,8
VALORES TOTALES	136.960	165.710				13.696		9.436,544

Table 10: EMISIONES DIRECTAS EDAR'S FUERTEVENTURA

EDAR FUERTEVENTURA	CAUDA L.H.E.	POBLACION DE DISEÑO H.E.	M3/ DÍA MEDIO POR PERSONA	M3/ DÍA MEDIO POR PERSONA	CONSUMO DEPURACIÓN MEDIA 0,5 KWH/m³	CONSUMO EN DEPURACIÓN(kW/h e.)	CONSUMO CON FACTOR ACTUALIZADO 0,726 CO/KWH	TOTAL
MORRO JABLE II (PAJARA)	23.454	58.334	0	4.691	0,5	2345,4	0,726	1.702,76
COSTA CALMA(PAJARA)	18.333	42.494	0	3.667	0,5	1833,3	0,726	1.330,976
PUERTO DEL ROSARIO	18.334	30.000	0	3.667	0,5	1833,4	0,726	1.331,048
GEAFOND 2 EDAR	16.000	185.000	0	3.200	0,5	1600	0,726	1161,6
MONTAÑA BLANCA(ANTIGUA)	15.416	17.500	0	3.083	0,5	1541,6	0,726	1.119,202
GRAN TARAJAL(TUINEJE)	6.250	15.000	0	1.250	0,5	625	0,726	453,75
AEROPUERTO FUERTEVENTURA	3.131	8.914	0	626	0,5	313,1	0,726	227,3106
LAS GAVIOTAS(PAJARA)	3.400	4.000	0	680	0,5	340	0,726	246,84
PLAYAS DE JANDIA	3.992	3.992	0	798	0,5	399,2	0,726	289,8192
VALORES TOTALES	108.310	365.234				10.831		7.863,306

Table 11: EMISIONES DIRECTAS EDAR'S LA PALMA

EDAR LA PALMA	CAUDAL H.E.	POBLACION DE DISEÑO H.E.	M3/ DÍA MEDIO POR PERSONA	M3/ DÍA MEDIO POR PERSONA	CONSUMO DEPURACIÓN MEDIA 0,5 KWH/m ³	CONSUMO EN DEPURACIÓN (kW/h.e.)	CONSUMO CON FACTOR ACTUALIZADO 0,710 CO/KWH	TOTAL
LOS LLANOS DE ARIDANE	7.817	30.000	0	1.563	0,5	781,7	0,71	555,007
SANTA CRUZ DE LA PALMA	9.762	18.666	0	1.952	0,5	976,2	0,71	693,102
TAZACORTE(PUE RTO)	1.785	10.000	0	357	0,5	178,5	0,71	126,735
COMARCAL BREÑAS MAZO	2.441	8.125	0	488	0,5	244,1	0,71	173,311
PUERTO NAOS	2.327	4.000	0	465	0,5	232,7	0,71	165,217
SAN ANDRES Y SAUCES	2.345	2.304	0	469	0,5	234,5	0,71	166,495
VALORES TOTALES	26.477	73.095				2.647,7		1.879,867

Table 12: EMISIONES DIRECTAS EDAR'S LA GOMERA

EDAR LA GOMERA	CAUDAL H.E.	POBLACION DE DISEÑO H.E.	M3/ DÍA MEDIO POR PERSONA	M3/ DÍA MEDIO POR PERSONA	CONSUMO DEPURACIÓN MEDIA 0,5 KWH/m ³	CONSUMO EN DEPURACIÓN (kWH/he.)	CONSUMO CON FACTOR ACTUALIZADO 0,776 CO/KWH	TOTAL
SAN SEBASTIAN DE LA GOMERA	7.200	7.500	0	1.440	0,5	720	0,776	558,72
VALLE GRAN REY	5.100	5.000	0	1.020	0,5	510	0,776	395,76
VALORES TOTALES	12.300	12.500				1230		954,48

Table 13: EMISIONES DIRECTAS EDAR'S EL HIERRO

EDAR EL HIERRO	CAUDAL H.E.	POBLACION DE DISEÑO H.E.	M3/ DÍA MEDIO POR PERSONA	M3/ DÍA MEDIO POR PERSONA	CONSUMO DEPURACIÓN MEDIA 0,5 KWH/m ³	CONSUMO EN DEPURACIÓN (kWH/he.)	CONSUMO CON FACTOR ACTUALIZADO 0,455 CO/KWH	TOTAL
VALVERDE	1.771	3.000	0	354	0,5	177,1	0,455	80,580
TOTALES	1.771	3.000				177,1		80,6

3.3.2 EMISIONES INDIRECTAS

Las emisiones indirectas incluyen emisiones de GEI de los sectores energético, químico y de transporte. Los FE incluyen tanto factores generales como factores específicos de la planta. Los factores generales se mantienen constantes para todos los sitios de cada país. Estos factores se refieren al transporte, la fabricación de productos químicos y las emisiones fugitivas de CH₄ y N₂O.

Los factores específicos de la planta son únicos y variables entre las EDAR. Estos varían entre sitios dependiendo del proveedor de energía y la fuente de energía o combustibles utilizados en sus procesos de generación de electricidad y calor [11].

La energía total consumida depende de la energía renovable y no renovable del sistema eléctrico y de la energía renovable local producida por ellos mismos. Debido a esto, la ecuación que lo representa es la siguiente [17]:

$$ETc = ERn + ENRn + ELR \text{ siendo} \quad (6)$$

ETc: Energía total consumida del sistema

ERn: Energías renovables de la red

ENRn: Energía no renovable de la red

ELR: Energía renovable local

Dependiendo de la energía renovable local, la huella de carbono variará. Disminuirán tanto como se produzca energía renovable local. Como se puede observar en la Tabla 14 la energía procedente del sistema eléctrico podría ser energía no renovable (Diesel, turbina de gas, turbina de vapor y ciclo combinado) pero también renovable principalmente procedente de energías eólica y fotovoltaica. En la figura podemos ver que en los últimos 20 años la energía procedente de fuentes renovables ha aumentado del 8% al 20%. A la hora de seleccionar el factor de emisión adecuado, debemos tener en cuenta el origen de la energía, tal y como se muestra en la tabla 14.

Table 14. Balance eléctrico en las islas canarias

	2017	2018	2019	2020	2021
Hidraulico	3.272	3.277	3.510	3.481	3.043
Eólico	395.925	622.029	1.138.117	1.100.549	1.310.025
Fotovoltaico	273.627	272.073	278.920	258.863	262.265
Hidroeólico	20.233	23.656	23.249	19.540	23.088
Otras renovables	9.565	8.932	9.774	9.187	8.054
Total renovables	702.622	929.966	1.453.568	1.391.621	1.606.476
Ciclo combinado	2.997.377	3.051.022	3.053.518	3.254.270	3.430.240
Motores diesel	2.242.324	2.121.135	1.949.945	1.717.409	1.716.908
Turbina de gas	314.346	284.093	228.936	195.761	199.026
Turbina de vapor	2.674.394	2.455.432	2.189.011	1.387.608	1.108.038
Total no renovable	8.228.441	7.911.682	7.421.410	6.555.047	6.454.210
Demanda en B.C.	8.931.063	8.841.647	8.874.978	7.946.668	8.060.686

Fuente: <https://www.ree.es/es/datos/balance/balance-electrico>

En este sentido, siguiendo el modelo de indicador de impacto ambiental específico [18] y la fórmula utilizada por Red Eléctrica Española para el factor de emisiones en la generación no renovable del sistema eléctrico para 2021.

$$FE = FMmd + FMtg + FMtv + Fmcc \quad (7)$$

donde podemos definir según el Ministerio de Transición Ecológica:

FM: Factor de Emisión del Mix Eléctrico (tCO₂/kWh)

FMmd: Mezcla de Factores de motor diésel (tCO₂/kWh)

FMtg: Mezcla de Factores de turbinas de gas (tCO₂/kWh)

FMtv: Mezcla de Factores de turbina de vapor (tCO₂/kWh)

FMcc: Mezcla de Factor de Ciclo Combinado (tCO₂/kWh)

RE: Eficiencia Energética (kWh/m³)

HCMIX: Huella de Carbono del Mix Energético (tCO₂)

E1tMIX: Energía Real de las tecnologías del Mix Energético (kWh)

E2tMIX: Energía Futura del Mix Energético de Tecnologías (kWh)Ei: Energía de cada tecnología (kWh)

Pt: Porcentaje de uso de cada tecnología en el Mix Energético

El FM se calcula para cada tecnología e isla con el consumo total de energía por isla, asociado a la Huella de Carbono y al porcentaje de una tecnología en el Mix Energético, incluyendo energías renovables y no renovables. En consecuencia, la FM de una determinada tecnología "i" por isla es la siguiente:

$$FM_i = Pt_i / 100 \cdot HC_i / E_i \quad (8)$$

De esta forma, se calcula la Huella de Carbono del Mix Energético actual y futuro, considerando la suma de las energías de cada tecnología y su factor de mix de emisiones.

$$HCMIX = \sum E_i FM_i \quad (9)$$

La energía actual y la energía futura de las tecnologías del Mix Energético son las siguientes:

$$E1tMIX = \sum E_i \text{ en el momento inicial} \quad (10)$$

$$E2tMIX = \sum E_i \text{ en el momento final} \quad (11)$$

La potencia eólica instalada en Canarias ha pasado de 467 MW en 2020 a 560 MW en 2021 y es la segunda fuente de generación por delante de las turbinas de gas, los motores diésel y las turbinas de vapor. A 31 de diciembre de 2021, la energía eólica representa el 17,7% de la potencia instalada en el sistema insular (15,3% en 2020).

Para la isla de El Hierro, un sistema eléctrico de especial relevancia por contar con la Central Hidroeólica de Gorona del Viento. La revisión continua de sus criterios de funcionamiento ha permitido alcanzar niveles muy elevados de integración renovable. Así, en el mes de julio de 2021 la integración renovable mensual en este sistema alcanzó el 81%, alcanzando el 48,3% en el conjunto del año.

A continuación, se muestra en la tabla 15 el Factor de Emisión de todo el sistema eléctrico para el año 2020, calculado como el total de emisiones de GEI procedentes de la generación eléctrica (correspondientes a las emisiones de las centrales térmicas), dividido por el total de electricidad final.

Table 15. Factor de emisión del sistema eléctrico por islas. Año 2020

	Gran canaria	Tenerife	Lanzarote	Fuerteventura	La Palma	La Gomera	El Hierro	Canarias
Emisión GEI(tCO ₂ eq)	1.863.104	1.812.588	463.838	364.492	166.894	49272	19.857	4.740.046
Energía eléctrica(MWh)	3.028.008	2.924.718	673.148	502.077	253.164	63.460	43.613	7.470.190
Factor de emisión	0,615	0,620	0,689	0,726	0,710	0,776	0,455	0,635

Table 16. EDAR según ciclos

	Muy pequeño <10.000 H.E.	Pequeño 10.000-50000 H.E.	Medio 50.000- 100000 H.E.	Grande 100.000 H.E.<
CANARIAS				
LANZAROTE	50%-(4)	33,3%-(3)	16,7%-(1)	-
FUERTEVENTURA	44,44%-(4)	55,55%-(5)	-	-
GRAN CANARIA	65,38%-(17)	19,23%-(5)	7,69%-(2)	7.63%-(2)
TENERIFE	74,28%-(26)	14,28%-(5)	5,71%-(2)	5,71%-(2)
LA GOMERA	100%-(2)	-	-	-
LA PALMA	100%-(6)	-	-	-
EL HIERRO	100%-(1)	-	-	-
TOTAL EDAR CANARIAS	68,96%-(60)	20,68%-(18)	5,74%-(5)	4,59%-(4)

Table 17. Factor de emisión del sistema eléctrico por islas. Año 2020

CICLOS DE TRATAMIENTO EN LAS EDAR DE CANARIAS	
PRETRATAMIENTO	100%
TRATAMIENTO PRIMARIO	100%
TRATAMIENTO SECUNDARIO	100%
TRATAMIENTO TERCARIO	13,33%

En una EDAR el consumo de energía varía según su tamaño, la carga contaminante del afluente, el tipo de tratamiento y la tecnología realizada en la operación, lo que significa que el costo de la energía variará de una planta de tratamiento a otra. La siguiente tabla 18 muestra la distribución en porcentaje del consumo eléctrico según tratamiento o servicio

Table 18. Consumo eléctrico según tratamiento o servicio (González y Moreno, 2009) [20]

CONSUMO ELÉCTRICO SEGÚN EL CICLO DE TRATAMIENTO	
SERVICIOS GENERALES	8%
PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO PRIMARIO	14%
TRATAMIENTO SECUNDARIO	73%
TRATAMIENTO TERCIARIO	5%

En las Islas Canarias, el total de energía utilizado, incluyendo el gasto directo e indirecto, es de 1.022.967 Kw/h.e. En cuanto al gasto de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), el 65% se debe a instalaciones, lo que significa que es un consumo energético indirecto, según indica el Estudio de Medidas Innovadoras de Ahorro y Eficiencia Energética en Plantas Depuradoras de Aguas Residuales[20].

Podemos deducir que del consumo energético total es de 1.022.967 Kw/he., tendremos un Coste Indirecto Total de 664.928,55 Kw/he. (65%) y Gasto Directo 358.035,45 Kw/he. (35%).

El valor de los Gastos Indirectos se desglosará según la Tabla 19, dando los siguientes resultados:

Table 19. Consumo eléctrico según tratamiento o servicio

GASTO ENERGÉTICO INDIRECTO DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA	Kw/h.e. indirectos	
SERVICIOS GENERALES	8%	53.194,28
PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO PRIMARIO	14%	93.089,9
TRATAMIENTO SECUNDARIO	73%	485.397,84
TRATAMIENTO TERCIARIO	5%	33.246,42

En conclusión, una de las líneas de investigación para la elaboración de una posible mitigación en el sistema de consumo indirecto, sería obtener energía de una fuente alternativa, donde a su vez, eliminaríamos parte del CO₂ que se emite, en este ciclo.

4. RESULTADOS Y DATOS

Hemos recopilado los resultados y datos de los diferentes Consejos Insulares de Agua de todo el archipiélago canario que han colaborado para realizar esta investigación, aportando datos para el cálculo aproximado de la huella de carbono que se genera primero por isla, segunda por provincia y tercera globalmente en todo el archipiélago canario.

El sistema de cálculo que se genera es realizar el estudio siempre con los datos más desfavorables, en este caso es con el caudal máximo que se puede dar en cada EDAR. Según datos del propio IDAE [19], el consumo eléctrico bombeado se estima en 447 GWh/año en captación, suministro y distribución de agua urbana. En depuración, el consumo específico medio de la EDAR es de 0,5, lo que supone un consumo eléctrico de 2.225 GWh/año para el conjunto de las instalaciones.

Teniendo en cuenta estos datos, hemos realizado la estimación de los costes energéticos según caudal para depuración, para ello el estudio se realiza por islas en primer lugar, quedando reflejado en la tabla 20.

Table 20: EMISIONES MEDIAS ESPECÍFICAS DE CO DE CADA ISLA

ISLA	G.C	TF	LANZ	FV	L.P	GOM	H
CO/K wh	0,615	0,620	0,689	0,726	0,71	0,776	0,455

5. CONCLUSIONES: ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LA HUELLA DE CARBONO

En este artículo se muestra una revisión exhaustiva de la evaluación de la huella de carbono para los procesos de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) en el Archipiélago Canario, España. La revisión mostrada en este artículo se ha realizado a través de factores de emisiones directas e indirectas utilizando nuevas herramientas y metodologías que se han adaptado a las características de los sistemas insulares.

El criterio que se ha seguido en este trabajo es el de la determinación de las emisiones de carbono para las unidades funcionales en relación con los caudales de tratamiento de aguas residuales capaces de cubrir la suma de cada estación depuradora sectorizada por islas, provincias y finalmente para todo el archipiélago canario. Una conclusión importante que se desprende de este estudio es que la huella de carbono se puede utilizar para evaluar la sostenibilidad de las EDAR. Además del dióxido de carbono, también se consideró, dentro de la huella, el nitrógeno y el fósforo, para evaluar la eutrofización de las masas de agua.

Para promover la aplicación de la evaluación de la huella, este artículo regula los objetivos del estudio, los marcos, los límites del sistema, los métodos de tratamiento de los datos y el proceso de interpretación resultante. Se discute e investiga en detalle los pros y los contras de la evaluación de la huella, examinando la producción de CO₂ en cada isla del archipiélago canario.

El análisis de las evaluaciones de la huella en diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales reveló que las tecnologías y escalas de tratamiento de aguas residuales tuvieron un impacto significativo. Además, los puntos críticos de investigación identificados mediante un diagrama de red de palabras clave mostraron que el nexo agua-carbono-energía era una dirección prometedora para futuros estudios.

ABREVIATURAS: CONTRIBUCIONES DE AUTOR

Conceptualization J.V.R., R.L.Q, B.R.G., A.R.M.; Data curation J.V.R., R.L.Q, Formal Analysis, J.V.R., R.L.Q; Funding acquisition S.O.P.B ; Investigation, Methodology, J.V.R., R.L.Q, B.R.G.,A.R.M.; Project administration , S.O.P.B. ; Resources, S.O.P.B. ; Supervision, J.V.R., A.R.M., S.O.P.B.; Visualization, J.V.R., A.R.M., S.O.P.B.; Writing – original draft, J.V.R., R.L.Q; Writing – review & editing: J.V.R., A.R.M., B.R.G., S.O.P.B.

REFERENCIAS

- [1] N. Y. 1–11. Wiedmann, T. and Minx, J. (2007). A definition of 'carbon footprint'. In Ecological economics research trends. C. C. Pertsova (ed.). Nova Science Publishers, No Title. .
- [2] B. P. Weidema, M. Thrane, P. Christensen, J. Schmidt, and S. Løkke, "Carbon Footprint," J. Ind. Ecol., vol. 12, no. 1, pp. 3–6, Feb. 2008, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00005.x>.
- [3] K. Chen et al., "The application of footprints for assessing the sustainability of wastewater treatment plants: A review," J. Clean. Prod., vol. 277, p. 124053, Sep. 2020, doi: [10.1016/j.jclepro.2020.124053](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124053).
- [4] A. Galli, T. Wiedmann, E. Ercin, D. Knoblauch, B. Ewing, and S. Giljum, "Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a 'Footprint Family' of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet," Ecol. Indic., vol. 16, pp. 100–112, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.017>.
- [5] L. Corominas, X. Flores-Alsina, L. Snip, and P. A. Vanrolleghem, "Comparison of different modeling approaches to better evaluate greenhouse gas emissions from whole wastewater treatment plants," Biotechnol. Bioeng., vol. 109, no. 11, pp. 2854–2863, Nov. 2012, doi: <https://doi.org/10.1002/bit.24544>.
- [6] L. Yerushalmi, O. Ashrafi, and F. Haghghat, "Reductions in greenhouse gas (GHG) generation and energy consumption in wastewater treatment plants," Water Sci. Technol., vol. 67, no. 5, pp. 1159–1164, Mar. 2013, doi: [10.2166/wst.2013.681](https://doi.org/10.2166/wst.2013.681).
- [7] M. Bani Shahabadi, L. Yerushalmi, and F. Haghghat, "Estimation of greenhouse gas generation in wastewater treatment plants – Model development and application," Chemosphere, vol. 78, no. 9, pp. 1085–1092, 2010, doi: [10.1016/j.chemosphere.2010.05.017](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.05.017).

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.12.044>.

- [8] G. C. IPCC, "Cambio climático 2014. Informe de síntesis.," Contrib. los Grup. Trab. I, II y III al Quinto Inf. evaluación del Grup. Intergub. Expert. sobre el Cambio Climático [Equipo redacción Princ. Pachauri, RK y Meyer, L.(directores la publicación)]. IPCC, Ginebra, Su, 2014.
- [9] C. W. T. IPCC, Climate change 2007: synthesis report. IPCC Geneva, Switzerland, 2007.
- [10] L. Fitzsimons et al., "Increasing resource efficiency in wastewater treatment plants: EPA Research Report 168," 2016.
- [11] M. Maktabifard et al., "Comprehensive evaluation of the carbon footprint components of wastewater treatment plants located in the Baltic Sea region," *Sci. Total Environ.*, vol. 806, p. 150436, 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150436.
- [12] M. Maktabifard, E. Zaborowska, and J. Makinia, "Evaluating the effect of different operational strategies on the carbon footprint of wastewater treatment plants – case studies from northern Poland," *Water Sci. Technol.*, vol. 79, no. 11, pp. 2211–2220, 2019, doi: 10.2166/wst.2019.224.
- [13] B. Karolinczak, W. Dabrowski, and R. Żyłka, "Evaluation of dairy wastewater treatment systems using carbon footprint analysis," *Energies*, vol. 14, no. 17, 2021, doi: 10.3390/en14175366.
- [14] UNE-EN ISO 14064-1:2019 Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero
- [15] B. Del Río-Gamero, S. O. Perez-Baez, and A. Gómez Gotor, "Calculation of greenhouse gas emissions in canary islands wastewater treatment plants," *Desalin. Water Treat.*, vol. 197, pp. 101–111, 2020, doi: 10.5004/dwt.2020.25993.
- [16] I. P. O. Change, "2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories," Inst. Glob. Environ. Strateg. Hayama, Kanagawa, Japan, 2006.
- [17] F. Leon, A. Ramos, J. Vaswani, C. Mendieta, and S. Brito, "Climate Change Mitigation Strategy through Membranes Replacement and Determination Methodology of Carbon Footprint in Reverse Osmosis RO Desalination Plants for Islands and Isolated Territories," *Water*, vol. 13, no. 3. 2021, doi: 10.3390/w13030293.
- [18] A. C. U. de la huella ecológica y del carbono en el ámbito de la responsabilidad social corporativa (RSC) y el ecoetiquetado Penela and 8. de bienes y servicios. DELOS, 2010, 3, "No Title."
- [19] Estudio de prospectiva Consumo Energetico en el sector del agua 2010.(IDAE)
- [20] Medidas de ahorro y eficiencia energética de carácter innovador en estaciones depuradoras de aguas residuales Consumos eléctricos según tratamiento o servicio (González y Moreno, 2009).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue cofinanciada por la Cooperación INTERREG V-A, programa España-Portugal MAC (Madeira-Azores-Canarias) 2014-2020, proyecto MITIMAC (MAC2/1.1a/263)