

Huella de carbono asociada al ciclo integral del agua en Córdoba (Emacsa)

La huella de carbono es una medida empleada para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociados a organizaciones, eventos o actividades o al ciclo de vida de un producto para determinar su contribución al cambio climático, expresándose en kg de CO₂ equivalente. Las emisiones de GEI pueden ser directas o indirectas, derivadas estas del consumo de energía. En el caso del ciclo integral del agua (que emplea un 3% del consumo total de energía en España), las emisiones proceden mayoritariamente del uso de la energía. Para el cálculo de las emisiones tiene en cuenta el consumo energético y los factores de emisión que asocian la cantidad de energía consumida y la cantidad de gases emitida. Este trabajo presenta el resultado de calcular la huella de carbono en el ciclo integral del agua en Córdoba: se emiten 4.225,541 T de CO₂ eq/año, a razón de 12,92 kg de CO₂ eq/año por habitante, y 0,176 kg de CO₂ eq. por m³/agua gestionada por la empresa. Con los datos disponibles de tres casos estudiados en España, se puede estimar en 628.860 toneladas de CO₂ eq/año la huella de carbono del ciclo integral del agua en España.

Palabras clave

Huella de carbono, gases de efecto invernadero, ciclo integral del agua, potabilización, distribución de agua, saneamiento y alcantarillado, depuración de agua residual.

CARBON FOOTPRINT IN THE INTEGRATED WATER CYCLE OF CORDOBA (EMACSA)

Carbon footprint is a measure employed to quantify emissions of greenhouse effect gases linked to organizations, events or activities, and moreover to life cycle of a product to establish their contribution to climate change. It is expressed as kg of CO₂ equivalent. Emissions of greenhouse effects gases can be direct and non-direct ones, these last emanating from energy consumption. Water cycle consumes at Spain around 3% of total energy used in the country. To calculate emissions we must consider energy consumption and emissions factors which associate amount of used energy and amount of generated gases for energy unit. This paper shows the result obtained for the footprint carbon in the water cycle of Córdoba (Spain). There are generated 4.225,541 T of CO₂ eq/year, 12,92 kg of CO₂ eq/year for inhabitant, and moreover, 0,176 kg of CO₂ eq/m³ of water managed for the company. Moreover, the carbon footprint associated to urban water cycle in Spain, should be actually 628.860 T of CO₂ eq/year.

Keywords

Carbon footprint, greenhouse effect gases, integrated water cycle, drinking water treatment, water distribution, sewer sanitation, wastewater treatment.

Rafael Marín Galvín

doctor en Ciencias Químicas,
jefe de Control de Calidad
de la Empresa Municipal de Aguas
de Córdoba (Emacsa)



1. INTRODUCCIÓN: LA HUELLA DE CARBONO Y SU APLICACIÓN AL CICLO INTEGRAL DEL AGUA

La Directiva 27/2003/CE del Parlamento Europeo de 13 de octubre de 2003 (modificada posteriormente por la Directiva UE 208/410 del Parlamento y Consejo Europeo de marzo de 2018) implementó en el ordenamiento europeo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kioto a fin de contar con un mecanismo para el seguimiento protocolizado de las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI) proactivos en el calentamiento global (**Figura 1**). Esta directiva incluía en su ámbito de aplicación a las siguientes actividades:

- Actividades energéticas: instalaciones de combustión con una potencia térmica >20 MW, refinerías de petróleo y coquerías.
- Producción y transformación de metales féreos.
- Industrias minerales: cemento y productos cerámicos.
- Otras actividades: fabricación de pasta de papel y cartón.

La directiva establecía permisos de emisión de GEI para las actividades

afectadas con los condicionantes, derechos y obligaciones subsiguientes, exigiendo, además, un Plan Nacional de asignación de emisiones para los Estados miembros elaborado según los criterios establecidos en la propia directiva, así como la posibilidad de transferencia, entrega y cancelación de derechos de emisión entre nacionales y transnacionales, y criterios sobre validez de los derechos de emisión de GEI. También se marcaba la obligatoriedad de establecer por parte de los Estados miembros procedimientos de verificación de informes sobre emisión, y sanciones al respecto por incumplimientos de la normativa, así como la necesidad de contar con registros nacionales de este tipo de actividades, y una sistemática para notificación de informes a la UE.

Posteriormente, la Directiva 27/2012/UE fijó un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética y para asegurar la consecución del objetivo de obtener un ahorro energético en la UE del 20% para 2020 a fin de minimizar el impacto ambiental derivado del uso de la energía, y el de la producción asociada de GEI (**Figura 2**). Esta directiva, denominada 'De comercio de derechos de emisión de GEI',

posibilita la compensación de los derechos de emisión de CO₂ entre particulares en función de determinados condicionantes perfectamente definidos.

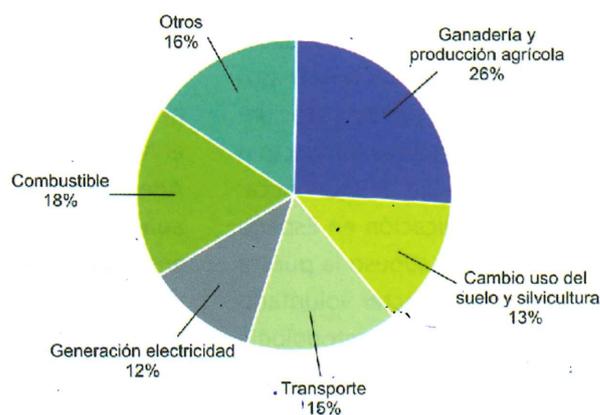
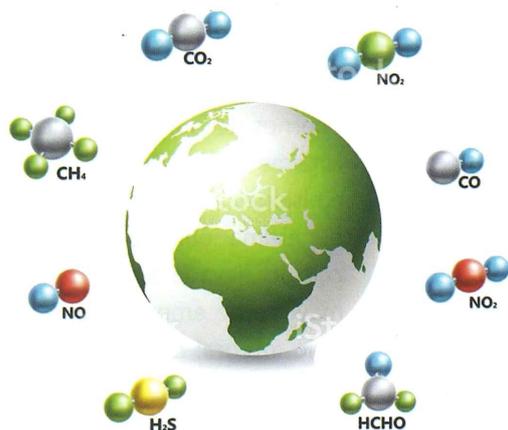
Así mismo, el nuevo marco europeo para el año 2030 duplica el esfuerzo de reducciones de GEI con relación a 2020 y triplica el esfuerzo en los sectores difusos, no incluidos en la Directiva 27/2012/UE, que son:

- Actividades comerciales, residenciales e institucionales.
- Agricultura y ganadería.
- Transporte.
- Industriales no afectados por la directiva de comercio.
- Residuos.
- Gases fluorados usados en equipos de refrigeración, en cosmética y farmacéuticas.

Recuérdese que este grupo de actividades emite del orden de 100 millones de toneladas (T) de CO₂ eq/año en España, el 60% de las emisiones de GEI.

En cualquier caso, el término huella de carbono (HC, una parte de la denominada huella ecológica -HE-) es una medida empleada para describir el cálculo de las emisiones de todos los GEI asociados a organiza-

FIGURA 1. Gases con efecto invernadero. Fuente: Internet. **FIGURA 2.** Emisiones de GEI por sector industrial. Fuente: Internet.

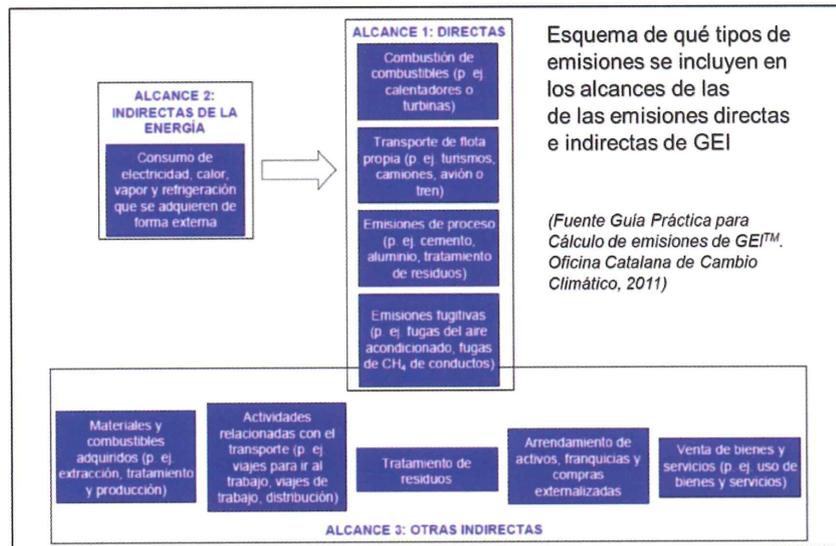


ciones, eventos o actividades o al ciclo de vida de un producto para determinar su contribución al cambio climático. Se expresa en kg de CO₂ equivalente. El conocimiento de la HC de cualquier actividad humana contribuye a:

- Cuantificar, reducir y neutralizar las emisiones de CO₂ en productos y organizaciones en el marco de la mitigación del cambio climático.
- Crear un mercado de productos y servicios con reducida generación de carbono, dando respuesta a la demanda social y medioambiental actual.
- Identificar oportunidades de ahorro de costes en las organizaciones.
- Demostrar ante terceros de los compromisos de la organización con la responsabilidad social a través de sus requisitos en mitigación del cambio climático.

Una de las metodologías para cuantificación de emisiones de GEI es la norma ISO 14064 parte 1, desarrollada de acuerdo con el protocolo Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) del World Resources Institute y el World Business Council for Sustainable Development, uno de los protocolos más utilizados internacionalmente para gestionar las emisiones de GEI. Posteriormente, la norma ISO 14067 estableció procedimientos de cálculo para cuantificar la cantidad de emisiones de GEI asociadas a empresas, eventos, actividades o ciclo de vida de un producto o servicio evaluable desde esta óptica. Además, la publicación en España del RD 163/2014 supuso la puesta en marcha con carácter voluntario de un registro de HC, metodología de compensación y proyectos de absorción de CO₂ para empresas com-

FIGURA 3. Alcances de emisiones GEI recogidos en la Directiva 27/2012/UE.



prometidas con la sostenibilidad.

Las emisiones de GEI pueden ser directas e indirectas (**Figura 3**):

- Directas, aquellas de fuentes que posee o controla el sujeto que genera la actividad. En este apartado, por ejemplo, se incluyen las emisiones de la combustión de calderas, uso de vehículos y transportes en flota propia, y otras emisiones de instalaciones industriales operadas por el sujeto. Corresponde al Alcance 1 de emisiones de GEI.
- Indirectas, consecuencia de las actividades del sujeto, pero que tienen su origen en fuentes que no posee o controla. Estas comprenden, en un primer gran apartado, las derivadas del consumo de electricidad y de calor, vapor o frío. No se producen físicamente en la instalación en la que la electricidad o calor son generados o empleados. Constituyen el Alcance 2 de las emisiones de GEI. Además, se establece un segundo apartado de emisiones indirectas entre las que se engloban la extracción y producción de materiales adquiridos para la actividad del sujeto, viajes de trabajo del personal de la empresa, transporte de materias pri-

mas o elaboradas, combustibles y productos, tratamiento de residuos, costes de tipo financiero, así como la utilización de productos o servicios ofrecidos por un tercero.

Específicamente para el ciclo integral del agua, las emisiones generadas son debidas muy mayoritariamente al gasto energético del mismo, que usa un 3% del total de la energía consumida en España. Para el cálculo de emisiones en Córdoba, cuyo ciclo de agua está gestionado por la Empresa Municipal de Aguas de Córdoba (Emacsa), se ha empleado el factor de emisión para el consumo eléctrico, lo que permitiría estimar de forma indirecta el factor emisor asociado al agua. También se han tenido en cuenta las emisiones de CO₂ eq derivadas del consumo de combustibles en transportes internos de la empresa (alcance 1). Finalmente, se han considerado las emisiones incluidas en el alcance 3 por estimación. Esta metodología de cálculo, llevada a cabo por la gran mayoría de empresas gestoras del ciclo integral del agua en España, permite comparar situaciones en diferentes sistemas.



» Las emisiones de GEI se expresan como cantidad de CO₂ equivalente emitido al medio y pueden corresponder a las generadas por el uso de la energía o bien por actividades de transporte

2. GENERALIDADES SOBRE EL CÁLCULO DE EMISIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO

Las emisiones de gases de efecto invernadero se clasifican en dos grandes grupos, según estén incluidas en la Directiva 2009/31/UE o no. En este segundo caso se habla de emisiones difusas. En todo caso, las emisiones de GEI se expresan como cantidad de CO₂ equivalente emitido al medio y pueden corresponder a las generadas por el uso de la energía o bien por actividades de transporte. A continuación se describe cómo se estiman de forma general estas emisiones.

2.1. EMISIONES ASOCIADAS A LA ENERGÍA

2.1.1. Consumo eléctrico

Para este tipo de emisiones se han de tener en cuenta los contribuyentes concretos que conforman el mix total de la producción de energía eléctrica en cada época considerada (actualizado periódicamente). El conjunto de todas estas contribuciones define la cantidad de CO₂ equivalente que está asociada a la producción de una unidad de energía.

Así, por ejemplo, los datos del año 2011 indicaban que cada kWh generaba 0,181 kg de CO₂ equivalente, mientras que los datos de 2017 cifraban en 0,310 kg de CO₂ equivalente el asociado a la producción de 1 kWh. Estos datos indican, en principio, que la producción de energía eléctrica en España ha sido menos sostenible ambientalmente entre 2011 y 2017.

2.1.2. Consumo de combustibles fósiles

El cálculo de emisión de GEI deberá considerar aquí el tipo de combustible fósil empleado. Para calcular finalmente las emisiones asociadas al uso de combustibles fósiles deben aplicarse los factores de emisión correspondientes (ver Bibliografía) que asocian cantidad de combustible y emisión generada. Estos valores se recalculan periódicamente.

2.1.3. Consumo de biomasa y energía renovable

El uso de biomasa no contribuye en realidad a la emisión de GEI puesto que el CO₂ emitido para obtención de energía se considera que ha sido previamente retirado de la atmósfera para generación de la propia biomasa. Ejemplos de tipos de biomasa neutras respecto a la emisión de GEI pueden ser:

- Plantas: paja, heno, hierba, hojas, maderas, raíces, y cultivos como maíz.
- Residuos y subproductos de biomasa: madera residual industrial, madera usada, residuos a base de madera, desechos de silvicultura, harina de animales y pescados, desechos de producción de alimentos, lodos de depuradoras, biogás producido por digestión, sedimentos de puertos y de masas de aguas, gas de vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU).
- Fracciones de biomasa de materiales mezclados: restos flotantes de gestión de masas de aguas, desperdicios de producción de alimentos,

fracciones de residuos de madera, textiles, papeles, cartonajes, y restos de residuos municipales e industriales.

- Combustibles que han sido obtenidos a partir de biomasa: bioetanol, biodiésel, biometanol, biodimetiléter, bio-oil y biogás.

En el caso de la biomasa se evalúa la reducción de GEI ligados a su uso en sustitución de fuentes tradicionales de producción de energía teniendo en cuenta el porcentaje de reducción de fuente convencional de energía por biomasa. La misma situación puede darse si se considera la aplicación de energía renovable (por ejemplo, solar): la reducción de GEI, entonces, se basaría en aplicar el porcentaje de reducción de consumo energético a la fuente de la que originalmente se obtenía la energía, y de aquí trasladarlo a la generación de GEI aplicando el factor de conversión concreto.

2.2. EMISIONES ASOCIADAS AL TRANSPORTE

2.2.1. Transporte por carretera

En este caso se parte del tipo de combustible utilizado y los factores de emisión asociados. El valor de los factores concretos puede variar en función del método de cálculo y de estimación aplicados, recalculándose de forma periódica. Se aplican para turismos, camionetas, furgonetas, motocicletas, autobuses y autocares, pudiendo hacerse más complejo si se aplican otros factores moduladores tales como tipo, marca y antigüedad

del vehículo, km recorridos bien en ciudad bien en carretera e incluso tipo de vía, si bien no se va a entrar en este tipo de particularidades que se pueden encontrar en la bibliografía. Como información complementaria, existen calculadoras de emisión de CO₂ en función de la casuística concreta de cada actividad disponibles en Internet.

2.2.2. Transporte marítimo

Sin demasiado interés para el caso del ciclo integral del agua, también se cuenta con factores de emisión consensuados para cada tipo de combustible (consultar bibliografía).

2.2.3. Transporte aéreo

Como en el caso anterior, el transporte aéreo no tiene apenas incidencia para el caso de la huella de carbono del ciclo integral del agua. Como introducción al tema dígame que las emisiones de GEI asociadas comprenden distancia recorrida, altura del despegue y navegación, número de pasajeros, tipo de avión, combustible y otros. Además, cada hora de vuelo de un avión comercial supone una emisión media de 435 kg de CO₂ a la atmósfera, junto a la de otros gases de efecto invernadero asociados. Asimismo, existen calculadoras de emisión de CO₂ en función de cada trayecto aéreo a realizar, tipo de avión, circunstancias del viaje, etc., que se encuentran en Internet para libre descarga, incluso proporcionadas por las propias compañías aéreas.

3. HUELLA DE CARBONO ASOCIADA AL CICLO INTEGRAL DEL AGUA DE CÓRDOBA

Para su cálculo, se aplica la metodología de considerar consumos energéticos y factores de emisión de GEI asociados (según bibliografía). Además, se aplican en principio

» Según este estudio, el ciclo integral del agua en Córdoba genera una emisión de gases de efecto invernadero de 4.225,549 toneladas de CO₂ eq/año ligados a las actividades de Emacsa

los alcances 1 (transportes propios, gasto de combustibles fósiles) y 2 (gasto en energía eléctrica en potabilización, distribución de agua, saneamiento y depuración). Algunos de los sistemas genéricos consumidores de energía en el ciclo integral del agua de Córdoba son:

- Bombeos y elevaciones de aguas potables y residuales.
- Sistemas de producción de aire.
- Sistemas de preparación y dosificación de reactivos gaseosos.
- Sistemas de preparación y dosificación de reactivos líquidos.
- Elementos de control de valvulería.
- Caudalímetros.
- Sondas de medidas.
- Cuadros eléctricos.

3.1. ALCANCE 1, TRANSPORTES PROPIOS

El consumo total de combustibles en vehículos propios de la empresa se cifró en 53.894 L/año de gasolinas y de gasoil, mientras que para los factores de emisión se emplearon:

- 2,26 kg de CO₂ eq por L consumido de gasolina.
- 2,79 kg de CO₂ eq por L consumido de gasoil.

Aplicando los consumos reales que se han dado en Emacsa, se llega a:

- 25.984 L/año de gasolina x 2,26 kg de CO₂ eq por L = 58.724 kg de CO₂ eq/año.

- 28.000 L/año de gasoil x 2,79 kg de CO₂ eq por L = 78.120 kg de CO₂ eq/año.

Sumando las dos cantidades se obtiene un total de 136,844 T de CO₂ eq/año, lo que expresado por habitante y año supone:

- (136.844 kg CO₂ eq/año) / (327.000 hab) = 0,418 kg CO₂ eq/hab.

Si se expresan las emisiones por m³ de agua distribuida a la población, se tiene:

- (136.844 kg CO₂ eq/año) / (24.077.000 m³/año) = 0,00568 kg CO₂ eq/m³.

Si se expresan las emisiones por m³ de agua depurada en la población, se tiene:

- (136.844 kg CO₂ eq/año) / (24.619.250 m³/año) = 0,00556 kg CO₂ eq/m³.

Adicionalmente, la empresa cuenta con una flota de vehículos 100% eléctricos, recargados en la ETAP de Villa Azul, por lo cual su contribución a la generación de GEI se computa dentro del total de consumo eléctrico de esta instalación.

3.2. ALCANCE 2, CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Este cálculo se sectoriza según los cuatro subsectores componentes



Energía	España 2017	Comercial Emacsa
Renovable	32,0	13,6
Cogeneración de alta eficiencia	0,7	0,3
Cogeneración de baja eficiencia	10,2	13,1
Ciclo combinado gas natural	14,4	18,4
Carbón	17,5	22,4
Fuel/Gas	2,7	3,5
Nuclear	21,5	27,5
Otras	1,0	1,2

Producción de aire
Producción de aire ozonizado
Dosificación de carbón activo en polvo
Producción de cloro gas mediante evaporación de cloro líquido y dosificación
Sistema de neutralización de fugas de cloro
Producción de dióxido de cloro y dosificación
Dosificación de permanganato potásico
Dosificación de hidróxido sódico
Dosificación de policloruro de aluminio
Dosificación de amoníaco para desinfección (cloraminas) final del agua
Sistema de neutralización de fugas de amoníaco
Accionamiento de purgas de decantadores y bombeos asociados
Accionamiento de sistemas de lavado de filtros de arena mediante aire y agua
Producción de aire para lavado de filtros y otros usos
Alimentación eléctrica de sistemas de control de dosificación
Alimentación eléctrica de sistemas de control de variables vía SCADA
Bombeo de agua potable a red desde depósitos de ETAP
Reparaciones, limpiezas y otros usos

del ciclo integral del agua: producción de agua potable; distribución del agua a la población; saneamiento y alcantarillado; y finalmente, depuración del agua residual urbana generada. Como fase previa, debe establecerse un factor de emisión de GEI derivado del empleo de energía eléctrica por la empresa, procedente de su suministrador comercial concreto.

La **Tabla 1** recoge el origen de la energía eléctrica en el sistema eléctrico español en 2017 y para Emacsa: el componente mayoritario para el mix eléctrico fueron las energías renovables (un tercio del total), seguido del aporte de la generación vía nuclear y del carbón. Estas contribuciones varían para el caso de Emacsa con relación al nacional.

Con esta composición y aplicando las rutinas de equivalencia existentes en Bibliografía, se dedujo que con cada kWh de electricidad se emitían 0,39 kg de CO₂ eq al medio.

3.2.1. Producción de agua potable

En función del proceso de tratamiento de potabilización aplicado en la ETAP de Villa Azul, los sistemas que consumen energía eléctrica existentes en planta y que contribuirán a la emisión de GEI se recogen en la **Tabla 2**. La medida de consumos eléctricos está centralizada para toda la ETAP, sin discriminación de elementos concretos, siendo los consumos más altos los de lavado de filtros (que operan diariamente), y de producción de aire y aire ozonizado (que operan discrecionalmente). Finalmente, el consumo total medio durante los últimos 6 años ha sido de 776.464 kWh/año. Aplicando ahora el factor de emisión de GEI arriba indicado, quedaría:

- $(776.464 \text{ kWh/año}) \times (0,39 \text{ kg de CO}_2 \text{ eq/kWh}) = 302,821 \text{ T de CO}_2 \text{ eq/año}$, derivados de la producción de agua de consumo.

Si se expresan las emisiones por m^3 de agua distribuida a la población, se tiene:

- $(302.821 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/año}) / (24.077.000 \text{ m}^3/\text{año}) = 0,0126 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/m}^3$.

Expresando las emisiones por habitante y año, se tiene:

- $(302.821 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/año}) / (327.000 \text{ hab}) = 0,926 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/hab}$.

3.2.2. Distribución de agua potable a la red de distribución

Parte de la distribución de agua a la población se produce vía gravedad, por lo que el consumo energético es muy bajo al intervenir solamente sistemas de control de caudales instalados en red.

En cuanto a la distribución de agua al resto de la red se requiere de 10 sistemas de bombeo hacia depósitos de almacenamiento y distribución, otros bombes de emergencia y elementos de limpieza periódica o bajo demanda de la red de distribución.

Para esta fase, el consumo total medio durante los últimos 6 años ha sido de 1.198.326 kWh/año. Aplicando ahora el factor de emisión de GEI antes indicado, quedaría:

- $(1.198.326 \text{ kWh/año}) \times (0,39 \text{ kg de CO}_2 \text{ eq/kWh}) = 467,347 \text{ T de CO}_2 \text{ eq/año}$, derivados de la producción de agua de consumo.

Expresando las emisiones por m^3 de agua distribuida a la población, se obtiene:

- $(467.347 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/año}) / (22.630.000 \text{ m}^3/\text{año}) = 0,0207 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/m}^3$.

Si se expresan las emisiones por habitante y año, se tiene:

- $(467.347 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/año}) / (327.000 \text{ hab}) = 1,429 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/hab}$.

3.2.3. Saneamiento y alcantarillado. Transporte de aguas residuales a EDAR

La fase del agua residual comprende la recogida de aguas residuales urbanas (domésticas e industriales), y la de cauces de agua que no se apro-

vechan actualmente. El transporte de agua residual hacia la EDAR requiere de una serie de bombes de aguas, instalados en puntos estratégicos de la red de saneamiento para elevar la cota de la línea de agua usada, y facilitar su acceso a la EDAR con la mínima necesidad de elevación de aguas a la entrada de planta. En este caso, se dispone de 11 bombes de aguas residuales operativos en la red de saneamiento (tornillos de arquímedes y bombas). Además, la red de saneamiento cuenta con 52 puntos de alivio de aguas a cauce, que al ser por gravedad suponen un mínimo gasto energético (control de válvulas y control de caudales).

TABLA 3

SISTEMAS CON CONSUMO ELÉCTRICO EN DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Sistemas con consumo eléctrico en la EDAR de La Golondrina

Accionamiento de <i>bypass</i> general y evacuación de sólidos gruesos
Elevación de aguas en cabecera de planta
Accionamiento de tamices y limpieza
Bombes de vaciado de canales de desarenado-desengrasado. Alimentación de aire. Accionamiento de puentes basculantes. Otros sistemas de control
Bombes de vaciado de decantadores primarios. Accionamiento de puentes basculantes. Otros sistemas de control
Alimentación de aire para balsas de tratamiento biológico. Sistemas de control
Bombes de vaciado de decantadores secundarios. Accionamiento de puentes basculantes. Otros sistemas de control
Bombes de fangos primarios hacia espesadores por gravedad
Bombes de fangos secundarios hacia espesadores por flotación
Conducción de fangos a depósitos tampón de fangos
Dosificación de polielectrolito
Dosificación y control de reactivos químicos para desodorización en EDAR
Sistema de digestión anaerobia (DA) para tratamiento de aguas residuales procedentes de fábrica de levaduras. Su contribución al consumo energético de la EDAR es muy poco significativo al integrarse la energía eléctrica en la red de suministro
Sistemas de limpiezas internas periódicas u ocasionales
Sistemas de control vía SCADA
Medidores en continuo, caudalímetros y otros sistemas adicionales



Con relación al consumo energético del saneamiento y alcantarillado de aguas, el total medio durante los últimos seis años ha sido de 1.374.566 kWh/año. Aplicando ahora el factor de emisión de GEI antes indicado, quedaría:

- $(1.374.566 \text{ kWh/año}) \times (0,39 \text{ kg de CO}_2 \text{ eq/kWh}) = 536,081 \text{ T de CO}_2 \text{ eq/año}$, derivados del saneamiento.

Si se expresan las emisiones por m³ de agua distribuida a la población, se tiene:

- $(536.081 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/año}) / (24.619.250 \text{ m}^3/\text{año}) = 0,0218 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/m}^3$.

Expresando las emisiones por habitante y año, se obtiene:

- $(536.081 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/año}) / (327.000 \text{ hab}) = 1,639 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/hab}$.

3.2.4. Depuración de aguas residuales y entrega a cauce de agua depurada

La depuración se ubica en la EDAR de La Golondrina y cuenta con los sistemas con consumo eléctrico reseñados en la **Tabla 3**. El consumo energético medio de la EDAR durante los últimos 6 años ha sido de 4.265.670 kWh/año. De este, del orden del ≈70% se debe a la generación de aire para el biológico.

En relación al sistema de digestión anaerobia, este por sí mismo ya representa una importante contribución de GEI al balance global de la depuradora: así, se generan del orden de 2.000.000 m³/año de gas destinado a cogeneración que entra en el balance energético global de la EDAR como una aportación, la cual

TABLA 4

EMISIONES DE GEI EN EL CICLO INTEGRAL DEL AGUA EN CÓRDOBA (MEDIAS 2013-2018, ALCANCES 1 Y 2).

Alcances	Consumos/año	T CO ₂ eq/año	Contribución en % sobre total
Transportes propios (gasolina+gasoil)	53.984 L	136,844	3,4%
Producción agua de consumo	776.464 kWh	302,821	7,6%
Distribución de agua de consumo a red	1.198.326 kWh	467,347	11,7%
Saneamiento y alcantarillado	1.374.566 kWh	536,081	13,4%
Depuración aguas usadas y vertido agua depurada a cauce	4.265.670 kWh	2.542,971	63,9%
TOTAL	-	3.986,064	100%

ya ha sido restada del consumo energético global de la planta. No obstante, este gas contiene un 24% de media de CO₂, el cual se emite directamente al medio, es decir 480.000 m³/año. Empleando ahora la conversión de que 1 m³ de CO₂ equivale a 1,832 kg de gas en peso, se tendría la emisión directa de 879,360 T/año.

Continuando con el cálculo energético nuevamente, aplicando ahora el factor de emisión de GEI antes indicado, quedaría:

- $(4.265.670 \text{ kWh/año}) \times (0,39 \text{ kg de CO}_2 \text{ eq/kWh}) = 1.663,611 \text{ T de CO}_2 \text{ eq/año}$, derivados de la depuración de aguas residuales en la EDAR.

A este dato hay que añadir 879,36 T/año de CO₂ procedente de la digestión, con lo que el total sería de:

- $(1.663,611 \text{ T/año} + 879,360 \text{ T/año}) = 2.542,971 \text{ T de CO}_2 \text{ eq/año}$.

Si se expresan las emisiones por m³ de agua depurada en la población, se tiene:

- $(2.542.971 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/año}) / (24.619.250 \text{ m}^3/\text{año}) = 0,103 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/m}^3$.

Si se expresan las emisiones por habitante y año, se tiene:

- $(2.542.971 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/año}) / (327.000 \text{ hab}) = 7,777 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/hab}$.

4. BALANCE FINAL DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL CICLO INTEGRAL DEL AGUA EN CÓRDOBA

Los datos obtenidos (**Tabla 4**) concluyen que el ciclo integral del agua en Córdoba genera una emisión de GEI de 3.986,064 T CO₂ eq/año, ligados a las actividades controladas por la empresa. Este dato está en consonancia con otros datos existentes en bibliografía, por ejemplo, los 3.045,31 T CO₂ eq/año calculados para el abastecimiento de Lleida (Aiguès de Lleida, 146.000 habitantes) o los 2.801,34 T CO₂ eq/año en Murcia (Emuasa, 440.000 habitantes), si bien en este caso existen varios sistemas de aprovechamiento energético que hacen el balance más favorable.

En el caso estudiado de Córdoba, la componente mayoritaria con un 63,9% es la depuración de aguas, seguida del saneamiento y alcantarillado, lo que suponen un 77,3%

» Según los datos analizados de las huellas de carbono de Lleida, Murcia y Córdoba, puede estimarse que la huella de carbono asociada al ciclo integral del agua en España se cifra actualmente en 628.860 T de CO₂ eq/año y 13,38 kg de CO₂ eq/habitante y año

en la fase de aguas negras, mientras que la fase de agua blanca (consumo) contribuye con un 19,3% al total. Finalmente, la fase de transportes propios sólo contribuiría con un 3,4% al total de emisiones de GEI, extendiéndose su influencia tanto a la fase de agua blanca como a la de agua residual.

Otros datos de interés del cálculo realizado son:

- Emisiones de CO₂ eq por habitante/año en la ciudad: 12,19 kg CO₂ eq.

- Emisiones de CO₂ eq por m³/agua gestionada al año (dato de agua captada para el abastecimiento): 0,166 kg CO₂ eq.

- Emisiones de CO₂ eq por m³/agua de consumo producida y distribuida al año (considerando un 50% de las emisiones de transportes totales) es decir, fase de agua blanca del ciclo integral: 0,035 kg CO₂ eq.

- Emisiones de CO₂ eq por m³/agua residual recogida y depurada al año (considerando un 50% de las emisiones de transportes totales), es decir, fase de aguas negras del ciclo integral: 0,128 kg CO₂ eq.

Finalmente, se podría completar el cálculo incorporando las emisiones de Alcance 3, que son las imputables a transportes externos a la empresa. Para ello, considerando los

valores estimativos de la contribución del transporte por carretera sobre el total de consumo de energía en España (datos del Ministerio para la Transición Ecológica) y la situación concreta de la logística derivada a la actividad de Emacsa, podría valorarse en 1,75 veces de consumo de combustibles y consiguientemente, en 1,75 veces la emisión de GEI por tal actividad con relación al cómputo de Emacsa. Con ello, se obtendría un valor de 239,477 T de CO₂ eq/año. Incorporado este dato al balance final, se tendría:

- Total emisiones CO₂/año: 4.225,541 T CO₂ eq.

- Emisiones de CO₂ eq por habitante/año en la ciudad: 12,92 kg CO₂ eq.

- Emisiones de CO₂ eq por m³/agua gestionada al año (dato de agua captada para el abastecimiento): 0,176 kg CO₂ eq.

Tomando ahora en cuenta los datos de las huellas de carbono de Lleida, Murcia y Córdoba, se puede estimar que la huella de carbono asociada al ciclo integral del agua en España puede cifrarse actualmente en 628.860 T de CO₂ eq/año y 13,38 kg de CO₂ eq/habitante y año.

Bibliografía

[1] Akerman, A.; Massagué, A.; Mehier, S.; Audic, J.M. (2010). Methodology for the assessment of the greenhouse gas impact

of wastewater sludge treatment. *Journal of Water and Climate Change*, núm. 4(1), págs. 227-237.

[2] Blanco, D.; Collado, S.; Díaz, M.; Suárez, M.P.; Pérez, J.A.; Sánchez, J. (2014). Análisis de la huella de carbono en una planta de tratamiento de agua tipo carrusel. *Tecnoaqua*, núm. 6, págs. 52-57.

[3] Entitat Metropolitana de Serveis Hidràulics i Tractament de Residus (2011). Cálculo de la huella de carbono en las instalaciones de tratamiento de agua residual y fango de la EMSHTR en 2010. www.perfil.amb.cat.

[4] Environmental Agency of United Kingdom (2009). Transforming wastewater treatment to reduce carbón emissions. www.gov.uk.

[5] Generalitat de Catalunya. Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2011). Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases efecto invernadero (GEI), 66 págs.

[6] Gómez Larrambe, A. (2016). Evaluación de la huella hídrica del ciclo integral del agua de la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona. Tesis de Grado, Universidad Pública de Navarra.

[7] Hernández Moreno, E.; Pérez de Boers, J.; Quintillá, F. (2013). Reducir las emisiones de CO₂: Algües de Lleida reduce las emisiones de CO₂. *AENOR*, núm. 287, págs. 36-39.

[8] Yi, L.; Luo, X.; Huang, S.; Wang, D.; Zang, W. (2013). Life cycle assessment of a municipal wastewater treatment plant: A case study in Suzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, núm. 57, págs. 221-227.

[9] Marín Galvín, R. (2015). El ciclo integral del agua en Córdoba. Flujos de materia implicados y huella de carbono asociada. *Actas de las IV Jornadas de Ingeniería del Agua (Córdoba)*, págs. 687-696.

[10] Marín Galvín, R. (2016). Flujos de materias (agua y sólidos) y huella de carbono asociados al ciclo integral del agua en Córdoba. *Ingeniería Municipal*, núm. 303, págs. 40-44.

[11] Massagué, A. (2010). Aplicación de una calculadora de huella de carbono en la operación de instalaciones del ciclo urbano de agua: CAFCA. Ponencia en el 10º Congreso Nacional de Medio Ambiente, Madrid.

[12] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2015). Factores de emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. www.magrama.gob.es.

[13] Ministerio para la Transición Ecológica. Informes varios sobre consumos energéticos en España, y diferentes contribuciones por sectores y actividades. www.miteco.gob.es.

[14] Mirta de los Angeles, M. (2011). Huella de carbono. *Actas del Seminario sobre Huella de Carbono*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial-Ministerio de Industria (Salta, Argentina).

[15] Nevado Santos, S.; Gomis Ivorra, A.; Mena Gil, E.; Castro García, M. (2016). Cálculo de la huella de carbono del ciclo urbano del agua. La experiencia de Emuasa. *Tecnoaqua*, núm. 19, págs. 58-65.

[16] Rémy, C.; Lesjean, B.; Waschnowski, J. (2013). Identifying energy and carbon footprint optimization potentials of a sludge treatment line with life cycle assessment. *Water Science and Technology*, núm. 67(1), págs. 63-73.

TECNOAQUA

www.tecnoaqua.es

Órgano de difusión de:



Asociación Española de Empresas del Sector del Agua



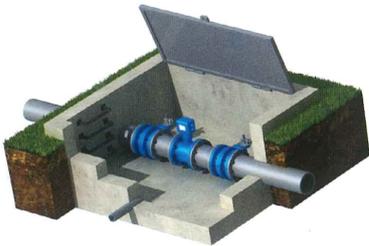
Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento

Colaborador de:



Huella de carbono asociada al ciclo integral del agua en Córdoba

Solución para la supervisión de la explotación de las redes de saneamiento en alta en Asturias



Aplicación de la medida de ATP2G en la detección temprana de vertidos a escala real

Método para la obtención de las curvas características de ventosas mediante ensayos en laboratorio

Experiencia de remineralización en la ETAP de Arbón

Supervisión de aliviaderos mediante sonda para detección de vertidos y tecnología radar para medida de nivel

Monitorización de la calidad del agua en las redes de distribución de agua potable de tercera generación

MICROCOM

Simply More

Plataforma de monitorización online gratuita

Tecnología de comunicación dual 2G/NB-IoT

5 años de garantía

Soporte directo de fábrica

16 años simplificando la monitorización de redes de agua

C/Gorostiaga, 53
20305 IRÚN · GUIPÚZCOA · ESPAÑA
902 82 06 84 · 943 63 97 24
microcom@microcom.es · www.microcom.es

