

Flujos de materias (agua y sólidos) y huella de carbono asociados al ciclo integral del agua en Córdoba



Rafael Marín Galvín

Jefe de Control de Calidad, Calidad y Medio Ambiente

EMACSA

rmargal@emacsa.es

Se presentan los resultados obtenidos en un estudio sobre los flujos de materia implicados en el ciclo integral del agua en la ciudad de Córdoba, considerando el período 2.010-2.014, en el que se han captado para potabilización 74.626 m³/d, entregándose a distribución 70.105 m³/d de agua de consumo; la diferencia de caudales corresponde a los dos subproductos generados en el proceso: purgas de decantación y aguas de lavado de filtros (3,9% y un 2,2% sobre caudal de entrada). Además, la carga aportada al saneamiento por estos efluentes fue del 11,24% sobre el total de agua residual de la ciudad en sólidos y del 1,13% de carga biodegradable. Con respecto al saneamiento, se han recibido para depuración 75.139 m³/d en la EDAR habiéndose vertido a cauce 74.387 m³/d. Aquí los subproductos de depuración generados han sido 126 T/d de fangos de depuración con calidad para aprovechamiento agrícola, y 3 T/d de arenas y aceites-grasas. Finalmente, y por su importancia medioambiental, también se ha investigado la huella de carbono asociada al ciclo integral del agua en la ciudad lo que ha supuesto la emisión de 15,2 kg/año de CO₂/h, con un coste energético de 0,102 KWh/m³ en potabilización y de 0,390 KWh/m³ en depuración.

El "ciclo integral (o urbano) del agua" comporta dos grandes apartados interconectados: la captación, potabilización (normalmente vía tratamiento químico) y

distribución del agua de consumo a la población; y en segundo lugar, el saneamiento y depuración de las aguas ya usadas antes de su vertido a cauce.

La fase de potabilización a su vez implica la generación de subproductos que condensan todos los componentes, físicos, químicos y biológicos que restringirían o incluso prohibirían totalmente el empleo de ese agua, tanto desde la óptica de la legislación aplicable, como desde el aspecto de la propia seguridad sanitaria y toxicológica para el ser humano.

Así pues, una ETAP, en la que se aplican procesos unitarios, por ejemplo, de oxidación, decantación-sedimentación y filtración o adsorción, también es un sistema productor de subproductos de desecho. Por un lado, todo el fango generado desde el inicio del tratamiento hasta el proceso de decantación, los denominados fangos de decantación, que deben ser retirados periódicamente a fin de que el proceso discurra eficientemente dan lugar a un subproducto típico de las ETAP; por otro lado, la filtración-adsorción es otra fuente de subproductos, en este caso ligados a la producción de aguas de lavado del lecho filtrante ricas en diversas materias: estos son los dos tipos mayoritarios de desechos generados en la potabilización y que deben ser correctamente gestionados, bien vía saneamiento o bien vía tratamiento en planta para minimizar su afeción sobre el medio ambiente.

Con respecto al saneamiento, las aguas residuales urbanas se componen de: aguas residuales puramente domésticas (desechos fisiológicos y productos de limpieza personal y doméstica) y aguas residuales industriales. A estas dos contribuciones se les suma la denominada contaminación difusa integrada por aguas de escorrentías y lluvias en entorno urbano, parques y jardines, baldeo de viales, y otros. Por lo dicho, la depuración de aguas residuales urbanas en las EDAR municipales discurre mayoritariamente mediante procesos biológicos que propician la producción de fangos de depuración con un contenido orgánico importante, susceptible de aprovechamiento agrícola. Además, en las EDAR se genera un segundo tipo de residuo mucho más minoritario y procedente de las fases de tamizados, desengrasado y desarenado: estos son los dos tipos fundamentales de residuos generados en cualquier EDAR convencional.

Hecha esta introducción, este trabajo plantea la necesidad de conocer y evaluar los flujos de materias asociados al ciclo integral del agua como forma de avanzar en la gestión eficaz y responsable de este recurso escaso. Se pasará revista al caso concreto de la ciudad de Córdoba, con los datos disponibles de los últimos cinco años (2.010-2.014) sobre los flujos de agua bruta, de consumo y residual involucrados, analizando las características de los subproductos generados en la ETAP que abastece a la ciudad, y las característi-

cas de los lodos de depuración generados en la EDAR. Asimismo, se expondrán los datos obtenidos en el cálculo de la huella de carbono asociada al ciclo integral del abastecimiento los cuáles pueden marcar la sostenibilidad ambiental global del sistema.

EL CICLO INTEGRAL DEL AGUA EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA

El abastecimiento a Córdoba (330.000 h) se inicia con la captación de agua bruta desde el embalse de Guadalmellato (147 hm³) situado a unos 25 km de la ciudad. Éste se halla ubicado en terrenos graníticos de Sierra Morena, lo que permite mantener una muy buena calidad de agua (220-260 µS/cm de conductividad, y oxidabilidad al KMnO₄, entre 3-8 mg/L).

Una vez captada el agua bruta se envía a la ETAP de Villa Azul (180.000 m³ de capacidad punta de tratamiento) para su proceso de potabilización: el caudal medio tratado durante los últimos cinco años se ha cifrado en 74.626 m³. Dentro de la ETAP se lleva a cabo el tratamiento del agua y su conversión en agua de consumo para su distribución a la red de la ciudad. La red cuenta con unos 1.100 km de tuberías de distribución, cifrándose la media de producción de agua de consumo en la ETAP en 70.105 m³ al día.

Empleada el agua de consumo por parte de usuarios de la ciudad, se convierte en agua residual urbana (≈75%) siendo el caudal medio

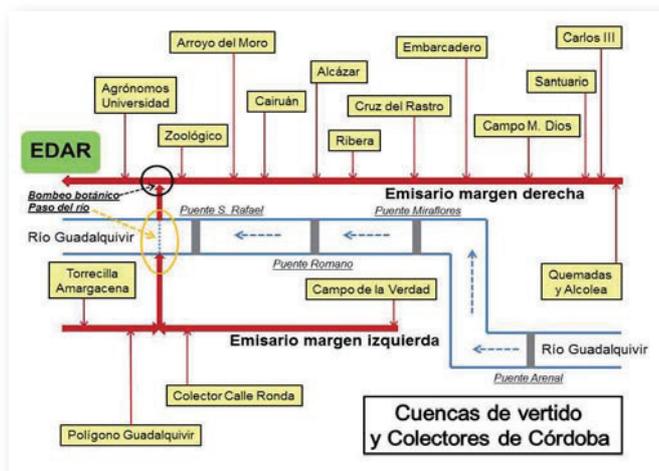


Figura 1. Esquema de las cuencas de vertido del saneamiento de Córdoba.

recibido en la EDAR municipal de La Golondrina 75.139 m³/d; en esta cantidad se integran los caudales naturales más o menos degradados que desaguan directamente en la red de saneamiento, y aquellos empleados por los diferentes usuarios del abastecimiento general (fundamentalmente industrias) procedentes de fuentes de captación propias. En todo caso el agua residual bruta está integrada por, aproximadamente, un 15% de aguas residuales de origen industrial, siendo el resto aguas residuales domésticas, naturales y pérdidas. Con relación a las aguas residuales industriales, proceden de industrias de manufacturas del cobre, joyerías y platerías, papelera, fábrica de levaduras, cervecera, varias industrias de transformados alimentarios, aceiteras y centros de fabricación y envasado de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, así como de centros de reciclado de plásticos y otros.

Todos los caudales de aguas residuales de la ciudad se conducen a través de la red de colectores de saneamiento (unos 900 km, ver Figura-1) hacia dos colectores generales (margen izquierda y margen derecha del río Guadalquivir) que se unen a su vez en un emisario general para acceder a la EDAR de La Golondrina. Aquí, mediante un proceso biológico aerobio (fangos activos) se purifican para proceder a su vertido final al río Guadalquivir cumpliendo con los estándares de depuración aplicables (RD 509/1996): en resumen, el

caudal medio de agua depurada fue de 74.387 m³/d. Con ello se ha cerrado el ciclo integral del agua en Córdoba de forma que toda el agua consumida por la ciudad es finalmente revertida al medio natural, en condiciones de mínima agresión ambiental y con posibilidad de su posterior aprovechamiento para usuarios localizados aguas abajo.

SUBPRODUCTOS GENERADOS EN LA ETAP DE VILLA AZUL

La ETAP de Villa Azul cuenta con un tratamiento convencional completo integrado por (Figura-2):

- Depósito de agua bruta (30.000 m³).
- Dosificación de carbón activo en polvo.
- Aireación-ozonización.
- Preoxidación: cloro, permanganato potásico, dióxido de cloro.
- Ajuste de pH: lechada de cal.
- Dosificación de coagulante: sales poliméricas de aluminio.
- Decantación mediante cuatro Pulsator Lamelares de 1.875 m³/h c.u.
- Filtración: 30 filtros rápidos de arena silíceo con 1.048 m² de superficie total.
- Ajuste final de pH: hidróxido sódico.
- Desinfección final: cloraminas (cloro+amoníaco).

El proceso discurre en continuo y se ajusta en todo momento a lo demandado por las características del agua bruta captada, en función del



Figura 2. Esquema de la potabilización y distribución del agua en la ciudad.

objetivo de conseguir la mejor calidad posible del agua tratada. Como se apuntó anteriormente, existen dos fuentes de generación de subproductos en la ETAP:

• Purgas periódicas de decantación, con un caudal medio cifrado en el 3,9% sobre caudal de entrada a planta, o 2.919 m³/d. La frecuencia y duración de las purgas se adapta en función del proceso lo que marca su caudal concreto en el tiempo.

• Aguas de lavado de filtros, con un caudal medio cifrado en el 2,2% sobre caudal tratado (1.602 m³/d). La carrera filtrante media de los filtros se cifra en unas 48 h y suele mantenerse más constante en el tiempo que la dinámica de las purgas de decantación.

Tanto la tasa de generación como las características de purgas de decantación y aguas de lavado de

filtros vendrán marcadas por el tratamiento concreto (calidad del agua bruta, línea de proceso, reactivos químicos y dosis) aplicado en cada momento. Por último, indicar que ambos tipos de efluentes de la ETAP se vierten directamente al saneamiento general de la ciudad, no llevándose a cabo tratamiento de subproductos en la propia ETAP.

Purgas de decantación

La Tabla-1 recoge el resultado de la caracterización fisicoquímica de las purgas de decantación y aguas de lavado de filtros de la ETAP de Villa Azul de los últimos cinco años. Se comprueba que la carga asociada es poco biodegradable según se desprende de los valores de DQO y DBO5 de los dos efluentes. Además, las purgas de decantación presentan un contenido sensiblemente más

Tabla-1. Características fisicoquímicas de purgas de decantación y aguas de lavado de filtros.

AÑOS 2010/2014	PARGAS	
	DECANTACIÓN	AGUAS LAVADO FILTROS
PH, UNIDADES DE PH	7,08	7,14
SÓLIDOS SEDIMENTABLES, MG/L	251	48
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN, MG/L	574	194
DBO5, MG/L	18	9
DQO, MG/L	252	83
N-KJELDAHL, MG/L DE NH ₃	9,5	4,4
P-TOTAL, MG/L DE P ₂ O ₃	1,1	0,8
NITRATOS, MG/L DE NO ₃ ⁻	2,8	1,2
CONDUCTIVIDAD, MSICM	238	274

alto en todos los parámetros investigados que las aguas de lavado de filtros.

Con respecto a purgas de decantación, la suma de sólidos sedimentables (SSED) y en suspensión (SSUS) suponía que cada m³ de las mismas contenía 0,825 kg de sólidos; considerando entonces el caudal medio de vertido de purgas de decantación se evacuarían al saneamiento (2.919 m³/d x 0,825 kg/m³) = 2.408 kg al día de sólidos.

Además, si se estima la carga biodegradable asociada a purgas de decantación como la media entre los valores de DBO5 y DQO, que sería de 0,135 kg por m³, y aplicando el caudal de vertido, se obtendría (2.919 m³/d x 0,135 kg/m³) = 394 kg al día de carga más o menos biodegradable.

Comparados estos datos con las medias de sólidos y carga biodegradable aportada por purgas de decantación con las medias del agua residual de la ciudad, que fueron de 24.871 kg/d de sólidos y 41.522 kg/d de carga biodegradable, se aprecia una afección apreciable en sólidos (9,68%) y muy limitada en carga biodegradable (0,95%) sobre aquella.

Dado que los dos efluentes generados en la ETAP acumulan metales por su propia dinámica de generación, metales ya presentes en origen en el agua bruta y/o aportados vía coagulación-floculación, podemos investigar su contenido en las purgas de decantación (Tabla-2).

En este sentido, el metal mayoritario fue el aluminio con 1,927 mg/L (7,14% sobre el total de metales) cuyo origen claramente radica en el coagulante aluminico empleado en proceso, seguido de hierro (0,507 mg/L y 1,88% sobre total) y manganeso (0,260 mg/L y 0,96%) originarios estos del agua bruta tratada en la ETAP. En todo caso, la suma (Ca+Mg+Na+K) representó la contribución mayoritaria de metales con 23,9 mg/L y un 88,52% sobre el total (27,0 mg/L) procediendo dichos metales casi en su totalidad del agua de consumo de la ciudad, convertida en residual, tras su uso por ciudadanos y centros comerciales o industriales.

Finalmente, el total de metales pesados (excluidos Ca+Mg+Na+K) aportados por las purgas de decantación (9,0 kg/d) al total del agua residual de la ciudad (0,89 mg/L o 66,9 kg/d) ha supuesto un 13,45%, siendo el resto imputable al agua residual urbana así como a las contribuciones de fuentes de aguas no controladas y contaminación difusa.

Aguas de lavado de filtros

En este caso, la suma de (SSUS+SSED) supuso que cada m³ de aguas de lavado de filtros contenían 0,242 kg de sólidos, con lo que considerando el caudal medio de vertido de aguas de lavado de filtros se evacuarían al saneamiento (1.602 m³/d x 0,242 kg/m³) = 388 kg al día de sólidos, o sea, sólo el 1,56% del total de sólidos presentes en el agua residual urbana.

Calculando ahora la carga biodegradable asociada a aguas de lavado (media entre valores de DBO5 y DQO) se obtendrían (1.602 m³/d x 0,046 kg/m³) = 74 kg al día, como aporte con respecto al total del agua residual urbana, es decir, solamente el 0,18%.

Atendiendo ahora al contenido en metales (Tabla-2) el metal mayoritario siguió siendo aluminio con 0,554 mg/L (2,38% sobre el total), seguido también de hierro (0,17 mg/L y 0,73% sobre total) y de zinc y cobre (0,096 mg/L y 0,41%, y 0,040 mg/L y 0,17%, respectivamente) desplazando en porcentaje a manganeso. La reducción de la presencia de Mn puede achacarse a su fuerte capacidad de adsorción sobre el lecho filtrante. En todo caso, la suma (Ca+Mg+Na+K) también representó la contribución mayoritaria de metales con 22,3 mg/L y un 95,71% sobre el total (23,3 mg/L).

Finalmente, el total de metales pesados (excluidos Ca+Mg+Na+K) aportados por las aguas de lavado de filtros (1,6 kg/d) al total del agua residual de la ciudad ha supuesto un 2,39%, siendo el resto imputable al agua residual urbana así como a las contribuciones de fuentes de aguas no controladas y contaminación difusa.

Computando globalmente todas las aguas de proceso de la ETAP,

Tabla-2. Contenido en metales de purgas de decantación y aguas de lavado de filtros.

AÑOS 2010/2014	PURGAS DECANTACIÓN	AGUAS LAVADO FILTROS
HIERRO, Mg/L	0,507	0,170
MANGANESO, Mg/L	0,260	0,019
ARSÉNICO, Mg/L	<0,007	<0,007
PLOMO, Mg/L	<0,002	<0,002
SELENIO, Mg/L	0,018	0,013
COBRE, Mg/L	0,092	0,040
ZINC, Mg/L	0,165	0,096
NIQUEL, Mg/L	<0,002	<0,002
CADMIO, Mg/L	<0,001	<0,001
MERCURIO, Mg/L	0,011	0,008
CROMO, Mg/L	0,002	<0,002
ALUMINIO, Mg/L	1,927	0,554
Ba+B+Sn+Ag, Mg/L	0,110	0,060
Ca+Mg+Na+K, Mg/L	23,9	22,3
TOTAL METALES, Mg/L	27,0	23,3

éstas han aportado 2.796 kg/d y un 11,24% de sólidos, 468 kg/d y un 1,13% de carga biodegradable y 10,6 kg/d y un 15,84% de los metales pesados del agua residual integrada del saneamiento.

SUBPRODUCTOS GENERADOS EN LA EDAR LA GOLONDRINA

La EDAR La Golondrina (Qpunta=148.000 m³/d, ver Figura-3) es una depuradora convencional que opera mediante fangos activos. Dispone de bombeo de agua en cabecera mediante tornillos de Arquímedes, pretratamiento (doble tamizado, desarenado y desengrasado), decantación primaria no forzada, tratamiento biológico equipado con selectores anaerobios previos a la aireación (24% sobre volumen total de las balsas de aireación), decantación secundaria y tratamiento de fangos. Con respecto a éstos, los primarios se espesan mediante gravedad, los secundarios mediante flotación, y el conjunto de ambos se deshidrata con ayuda de polielectrolito en decantadores centrífugos.

La EDAR cumple habitualmente con los estándares de depuración exigibles (25 mg/L de DBO5, 125 mg/L de DQO y 35 mg/L de Ssus, según Autorización de Vertidos vigente) para el agua ya depurada y después vertida al río Guadalquivir. El caudal medio tratado durante el estudio (2.010-14) fue de 75.139 m³/d,

mientras el caudal depurado supuso 74.387 m³/d, recibiendo una carga media diaria de 24.871 kg de (Ssus+Ssed) y de 41.552 kg de carga orgánica biodegradable (media entre DBO5 y DQO), con un contenido medio en metales pesados de 0,89 mg/L (66,9 kg/d).

La cantidad de fangos totales secos (primarios+secundarios, o fangos de depuración) eliminados en la EDAR se cifró en 126 T/d mientras que se retiraron en pretratamiento una media de 3 T/d de mezclas de aceites-grasas y arenas, gestionadas éstas como asimilados a residuos sólidos urbanos. Por otro lado, los fangos de depuración que engloban una gran parte de la contaminación no degradable vía microbiana que llega a la EDAR, son destinados a empleo agrícola y/o compostaje al cumplir la normativa vigente (ver Tabla-3) y ser ricos en materia orgánica (73,5%) y relativamente, en N (6,45%), P (3,43%) y K (0,75%).

HUELLA DE CARBONO ASOCIADA AL CICLO INTEGRAL DEL AGUA DE CÓRDOBA

La Directiva 27/2012/UE establece un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética y asegurar la consecución del objetivo de obtener un ahorro en la UE del 20 % para 2.020, a fin de minimizar el impacto ambiental derivado del uso de la energía, y el de la pro-



Figura 3. Vista general de la EDAR de La Golondrina: en primer término, decantadores secundarios y obra de entrega de agua depurada a cauce.

tificación, reducción y neutralización de las emisiones de CO₂ en productos y organizaciones en el marco de la mitigación del cambio climático; (b) la creación de un mercado de productos y servicios con reducida generación de carbono, dando respuesta a la demanda social y medioambiental actual; (c) la identificación de oportunidades de ahorro de costes en las organizaciones; y (d) finalmente, a la demostración ante terceros de los compromisos de la organización con la responsabilidad social a través de sus requisitos en mitigación del cambio climático.

Por otro lado, la norma ISO 14067 establece procedimientos de cálculo para describir la cantidad de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) asociadas a empresas, eventos, actividades o ciclo de vida de un producto o servicio. Además, la publicación en España del RD 163/2014 ha supuesto la puesta en marcha con carácter voluntario de un registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono para empresas.

Con respecto al ciclo del agua, las emisiones relacionadas son debidas principalmente al gasto energético que se produce en la potabilización y depuración de aguas residuales. Para su cálculo en nuestro estudio se ha empleado el factor de emisión para el consumo eléctrico lo que permitiría estimar de forma indirecta el factor emi-

ducción asociada de gases con efecto invernadero o GEI (Figura-4). Así pues, la huella de carbono es una medida empleada para describir el cálculo de las emisiones de todos los GEI asociados a organizaciones, eventos o actividades o al ciclo de vida de un producto para determinar su contribución al cambio climático. Se expresa en T de CO₂ equivalentes.

Abundando en el tema, la huella de carbono contribuye a: (a) la cuan-

Tabla-3. Características fisicoquímicas de los fangos de depuración generados en la EDAR: (a) sin límite; (b) suelos pH > 7; (c) suelos pH < 7.

CARACTERÍSTICAS FANGOS: MG/KG O % SOBRE MATERIA SECA	RD 1310/90 ORDEN AAA 1072/13	AÑOS 2010-14
SEQUEDEDAD, %	(A)	23,3
MATERIA ORGÁNICA, %	(A)	73,5
pH, UNIDADES DE pH	(A)	6,28
C/N	(A)	13,9
NITRÓGENO TOTAL, %-N	(A)	6,45
NITRÓGENO AMONIACAL, %-NH ₄	(A)	7,79
FÓSFORO TOTAL, %-P ₂ O ₅	(A)	3,43
POTASIO, %-K ₂ O	(A)	0,75
CALCIO, %-C ₂ O	(A)	4,57
MAGNESIO, %-MgO	(A)	0,85
SODIO, %-Na	(A)	0,14
HIERRO, Mg FeO/Kg	(A)	11.599
COBRE, Mg/Kg	1.750(B); 1.000(C)	347
MANGANESO, Mg/Kg	(A)	265
PLOMO, Mg/Kg	1.200(B); 750(C)	231
CADMIO, Mg/Kg	40(B); 20(C)	4,1
NIQUEL, Mg/Kg	400(B); 300(C)	59,4
CROMO, Mg/Kg	1.500(B); 1.000(C)	54,0
ZINC, Mg/Kg	4.000(B); 2.500(C)	529
MERCURIO, Mg/Kg	25(B); 16(C)	1,3
ARSÉNICO, Mg/Kg	(A)	8,8
SELENIO, Mg/Kg	(A)	1,4
COBALTO, Mg/Kg	(A)	2,5
SALMONELLA PRESENCIA/ AUSENCIA EN 25 G	(A)	PRESENCIA
ESCHERICHIA COLI, U.F.C./G	(A)	3,0X10 ⁸

Tabla-4. Flujos de materias en el ciclo integral del agua en Córdoba.

CAPTACIÓN DE AGUA BRUTA HACIA ETAP	74.626 M³
PRODUCCIÓN DE AGUA DE CONSUMO EN ETAP	70.105 M ³
	93,9% SOBRE AGUA CAPTADA
GENERACIÓN PURGAS DECANTACIÓN EN ETAP	2.919 M ³
	3,9% SOBRE AGUA CAPTADA
	3,9% SOBRE AGUA RESIDUAL
GENERACIÓN AGUAS LAVADO FILTROS EN ETAP	1.602 M ³
	2,2% SOBRE AGUA CAPTADA
	2,1% SOBRE AGUA RESIDUAL
EVACUACIÓN AGUAS RESIDUALES A EDAR	75.139 M ³
	+7,2% SOBRE AGUA PRODUCIDA EN ETAP
PRODUCCIÓN AGUA DEPURADA EN EDAR	74.387 M ³
	99,0% SOBRE AGUA INFLUENTE A EDAR
GENERACIÓN FANGOS DEPURACIÓN EN EDAR	126 TONELADAS
	EQUIVALENTES A 126 M ³
GENERACIÓN DE ARENAS Y FLOTANTES EN EDAR	3 TONELADAS
	EQUIVALENTES A 3 M ³

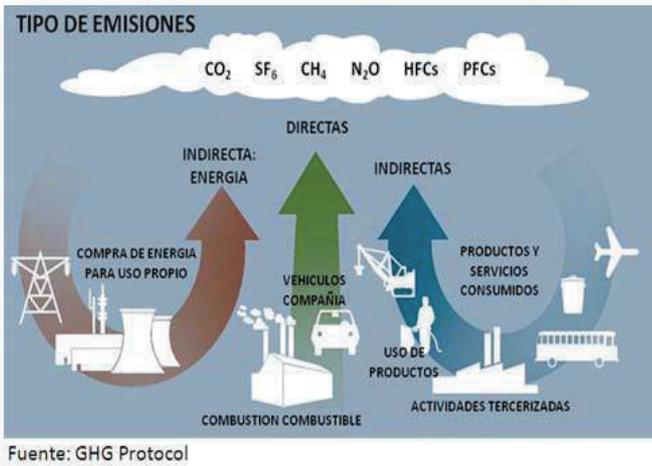


Figura 4. Generación de gases de efecto invernadero (Fuente: TMMirta de los Ángeles, M. 2011).

sivo asociado al agua. De este modo, se ha partido de los consumos energéticos medios de los últimos cinco años y de los caudales de agua tratados para potabilización y los caudales depurados, que han sido los siguientes:

- Consumo energético potabilización y distribución de agua: 2.815.037 KWh/año
- Consumo energético saneamiento y depuración de agua: 11.117.866 KWh/año
- Consumo energético total ciclo del agua: 13.932.903 KWh/año
- Caudal de agua tratado para potabilización: 27.678.887 m³/año
- Caudal depurado de aguas residuales urbanas: 28.732.404 m³/año

Además, el factor de emisión asociado al consumo de energía eléctrica se cifra en 0,360 kg de CO₂ por KWh. Aplicando el cálculo obtendríamos:

- Huella de carbono de la potabilización, 1.013,4 T de CO₂/año
- Huella de carbono de la depuración, 4.002,4 T de CO₂/año
- Huella de carbono del ciclo integral del agua de Córdoba, 5.015,8 T de CO₂/año

Otros datos de interés: el coste energético de la potabilización ha sido de 0,102 KWh/m³ y el de la depuración, 0,390 KWh/m³; finalmente, con una población de 330.000 h, cada ciudadano estaría asociado a una huella de carbono de 15,2 Kg/año de CO₂ en función de su uso de agua de consumo y de saneamiento y depuración de aguas residuales.

BALANCE GLOBAL DE MATERIAS Y FLUJOS ASOCIADOS

Con los datos reseñados en los apartados anteriores podemos establecer un balance de materias ajustado a la realidad del ciclo integral del agua en Córdoba. Del total de agua captada para potabilización al día desde la fuente de aprovechamiento habitual (74.626 m³) se produce un 93,9% de agua de consumo (70.105 m³), generándose un 3,9% de pérdidas de agua como purgas de decantación, y un 2,2% como aguas de lavado de filtros. Además, de toda el agua producida, el agua registrada y consumida por los usuarios es menor, de sólo 59.354 m³ al día (con un volumen de pérdidas en red del 15,3%).

Por otro lado, el caudal medio diario de agua residual que accede a la EDAR para depuración se cifra en 75.139 m³, mientras que el agua ya depurada que se vierte a cauce público es de 74.387 m³. El agua residual de la ciudad está compuesta de un 75% de agua de consumo usada, de los efluentes procedentes de la ETAP, y de fuentes externas no controladas incorporadas al saneamiento (escorrentías, manantiales no aprovechados por causas varias, baldeo de viales, lluvias e incluso aprovechamientos propios de usuarios ajenos al agua distribuida por la red de consumo).

Con relación a los subproductos, se generan 2.919 m³ de purgas de decantación y 1.602 m³ de aguas de lavado de filtros en potabilización, y 126 toneladas de fangos de

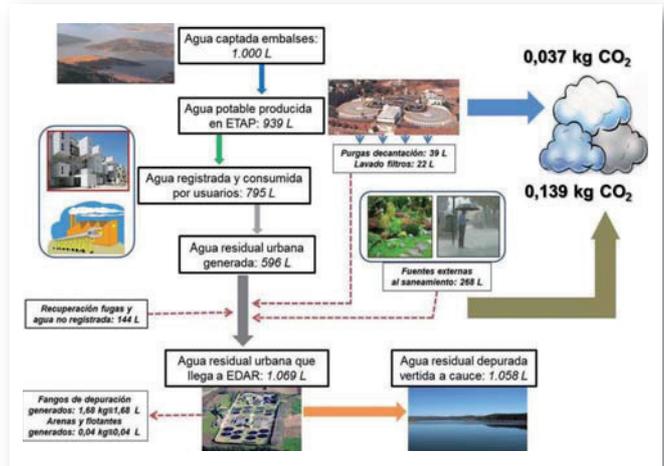


Figura 5. Flujo de materias completo (agua, sólidos, gases) asociado al ciclo integral del agua en Córdoba (2.010-14): base, 1.000 L.

depuración y 3 toneladas de arenas y flotantes en depuración.

En referencia a la huella de carbono asociada a la ciudad se cifra en 5.015,8 toneladas/año de CO₂, cantidad más baja que las que se pueden encontrar en referencias bibliográficas al respecto (3.045 toneladas de CO₂/año para una ciudad de como Lleida de 146.000 h, con una emisión de 20,9 Kg de CO₂/h-año).

Por último, la Figura-5 presenta el flujo de materias (aguas, sólidos y gases GEI) referida a un total de 1.000 L de agua captada para potabilización en el abastecimiento. Todos los caudales expresados están medidas, salvo el caudal de agua residual urbana (75% sobre agua distribuida), y el agua procedente de fuentes externas, obtenida ésta como diferencia entre agua residual y agua no registrada.

REFERENCIAS

- E. Hernández Moreno, J. Pérez de Boers, y F. Quintillá. *Reducir las emisiones de CO₂*: Aigües de Lleida reduce las emisiones de CO₂. AENOR (2013) 287 pp.36-39.
- A. Massagué. *Aplicación de una calculadora de huella de carbono en la operación de instalaciones del ciclo urbano de agua*: CAFA. Ponencia en el 10º Congreso Nacional de Medio Ambiente, Madrid (2010).
- R. Marín Galván. *Análisis de aguas y ensayos de tratamiento*: Principios y aplicaciones. Ed.

GPESA (pedidos al autor). Barcelona (1995).

- R. Marín Galván. *Transferencia de contaminación desde el agua residual urbana a los lodos de depuración: caracterización de biosólidos*. Tecnología del Agua (2007) 280 pp.28-36.
- R. Marín Galván. *Balace de masas asociado al ciclo integral del agua en el caso de Córdoba*. Actas de las XXVIII Jornadas Técnicas de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS-Zaragoza) (2008) pp.287-298.
- R. Marín Galván. *Procesos físico-químicos en depuración de aguas*. Ed. Díaz de Santos. Madrid (2012).
- R. Marín Galván. *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) (2015) 687-696.
- Metcalf y Eddy Inco. *Waste-water Engineering. Treatment and reuse*, 4th ed. Ed. McGraw Hill. New York (2003).
- M. Mirta de los Ángeles. *Huella de Carbono*. Actas del Seminario sobre Huella de Carbono. Instituto Nacional de Tecnología Industrial- Ministerio de Industria (Salta, Argentina) (2011).
- Nemerow, N. L. y A. Dasgupta. *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Ed. Díaz de Santos. Madrid (1998).
- R. Marín Galván. *Ripening of silica sand used for filtration*. Water Research (1992) 26 (5) pp.663-668. •

INGENIERIA MUNICIPAL

MEDIO AMBIENTE

EQUIPAMIENTO URBANO

SERVICIOS MUNICIPALES

RESIDUOS

ESPACIOS PÚBLICOS

agua profesional

año XXXI • abril 2016

COMPROMISOS DE GASTO PARA
IMPULSAR LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL
DE LA ADMINISTRACIÓN

CONSTRUCCIÓN & INFRAESTRUCTURAS INFORME 2016

EL VOLUMEN DE RESIDUOS RECICLADOS
ALCANZA LOS 18,5 MILLONES
DE TONELADAS EN 2015

Jerez espera a 400 científicos en
el CONGRESO IWA 2016

uno de los mayores eventos mundiales del agua