



Adaptación del ciclo del agua en el municipio de Alcantarilla hacia un modelo de economía circular mediante acciones de eficiencia energética y la incorporación de energías renovables

Benítez Báez, CT. Universidad Politécnica de Cartagena. clarytbb@gmail.com

Delgado Marín, JP. Universidad Politécnica de Cartagena. pablo.delgado@upct.es

Los autores desean agradecer el apoyo prestado por la Cátedra de la Fundación Repsol de la Universidad Politécnica de Cartagena en el desarrollo de este trabajo

1. Resumen

La Economía Circular, en contraposición con el modelo actual de Economía Lineal, tiene como objetivo maximizar la vida útil de los bienes y servicios generados por la actividad económica, reduciendo al mínimo los residuos generados en su producción y evitando la destrucción de los productos al final de su vida útil, introduciéndolos como materia prima en nuevos procesos productivos.

El parámetro que representa el grado de progresión hacia una Economía Circular es la Huella Ambiental (HA), parámetro de medida multi-criterio que sirve para evaluar el impacto que tiene sobre el medio ambiente un producto o servicio. Ella contiene, entre otras, la Huella de Carbono (HC) y la Huella Hídrica (HH).

El trabajo que se presenta analiza la mejora de la HA en el ciclo del agua del municipio de Alcantarilla en la Región de Murcia (40.900 habitantes y un consumo de agua de cerca de 2 Hm³/a). Dicho análisis abarca el ciclo completo, conteniendo una ETAP, una EBAP, dos EBAR y una EDAR. Su objetivo consiste en la aplicación de medidas de eficiencia energética, así como la utilización masiva de las fuentes de energía renovable locales para mejorar la HA a través de su HC y su HH. De igual manera se proponen acciones de simbiosis industrial que pueden ser relevantes para este nuevo modelo.

El trabajo demuestra que, haciendo uso de medidas de eficiencia energética y a través de la aplicación del nuevo marco regulatorio sobre el autoconsumo de energía generada por fuentes renovables (RD 900/2015), la HC del ciclo completo del agua puede reducirse en más del 71%.

Asimismo, el trabajo desarrolla un estudio de viabilidad técnica y económica de las infraestructuras energéticas propuestas, justificando la idoneidad de dichas inversiones sin que afecte a los costes de explotación y, por tanto, a la tarifa municipal de agua.

De esta manera, se concluye la factibilidad del inicio del proceso de transformación del modelo de Economía Lineal hacia una nueva Economía Circular que optimice los recursos disponibles y reduzca sus residuos, contribuyendo decididamente a una mayor sostenibilidad del ciclo completo del agua.



2. Introducción

El cambio climático es el principal reto ambiental global al que se enfrenta el planeta. Se hace necesario alcanzar un desarrollo sostenible. Este reto es de difícil solución, ya que las causas que provocan la alteración del clima están ligadas a nuestra base energética, los combustibles fósiles y al modelo de producción y consumo. No hay que olvidar que la Tierra tarda un año y medio en regenerar los recursos que la población mundial consume en doce meses y en absorber el CO₂ que se produce ese mismo año -WWF (2012: 40). World Wide Fund for Nature (2012). Informe Planeta Vivo. Gland, Suiza-.

El planeta no puede seguir con este ritmo de consumo desproporcionado. El modelo clásico de economía lineal, basado en la producción, el consumo y el deshecho en forma de residuo, es insostenible y caduco. La Comisión Europea está dispuesta a promover el cambio de una economía lineal hacia una economía circular, esto es, basada en la reutilización y las energías renovables. Según las previsiones, este giro copernicano podría ahorrar cerca de 600.000 millones de euros en 10 años, así que se trata de una oportunidad de negocio real.

Llevamos más de 15 años predicando sobre el uso de las energías renovables y el cambio de nuestros hábitos para ser más eficientes en el uso de la energía. Esta nueva cultura es lo que se ha venido a llamar la economía baja en carbono. El mensaje ha calado en la sociedad, en nuestros ciudadanos, nuestras administraciones y nuestras empresas.

Pero la Unión Europea quiere dar un paso más. Tanto el uso de los recursos como la gestión de los residuos constituyen un problema creciente para el que ni la economía baja en carbono, ni la apropiada gestión de nuestros residuos, bastan para resolver el progresivo agotamiento de los recursos.

Pero, ¿en qué consiste exactamente esta nueva economía basada en reutilizar otra vez los mismos recursos? Si bien la economía baja en carbono ha producido un indicador que hemos venido a llamar huella de carbono -que muchas industrias están obligadas a declarar en sus productos y procesos-, este nuevo modelo plantea la denominada Huella Ambiental.

Este parámetro se define como una medida multi-criterio del desempeño ambiental de un bien o un servicio basado en su ciclo de vida. Para ello, se tienen en cuenta un cierto número de aspectos que tienen que ver con el uso del agua, de los recursos, toxicidad y nivel de emisiones. Pero, además, estudia la huella de los recursos humanos y el uso que se hace de ellos, lo cual siempre se traduce en mejores condiciones de trabajo, eliminando cualquier posibilidad de explotación laboral.

En estos momentos, la Comisión Europea ha elaborado una “Estrategia Europea sobre Economía Circular”. No se trata de un documento-marco político, sino que Europa se va a tomar muy en serio su implantación. Por ello, trazará un ambicioso plan de acción que se ejecutará hasta el año 2020. Así que pronto comenzaremos a interiorizar el concepto de economía circular en nuestras vidas.

Como siempre, se pretende que las administraciones públicas actúen como agentes ejemplarizantes. La huella ambiental de los productos y procesos será tenida en cuenta



en los procedimientos de contratación pública, en la gestión de sus instalaciones, y en la implantación de un modelo de gobierno más abierto y con mayor participación ciudadana.

El presente trabajo analiza la posibilidad de implantación de un modelo de economía circular en el ciclo integral del agua de un municipio mediano como puede ser Alcantarilla, en la Región de Murcia. Para ello se ha utilizado la guía europea para determinar la Huella Ambiental de una Organización (HAO) para definir un procedimiento sencillo que permita evaluar el efecto que tendría el uso de las energías renovables y de acciones de eficiencia energética en la reducción del impacto ambiental, basándose fundamentalmente en la Huella de Carbono y la Huella Hídrica.

Se trata de un primer paso hacia un nuevo modelo que aún tiene que madurar y acotar su definición, de manera que un único parámetro (la HAO) tenga la suficiente representatividad para ofrecer una información válida y comparable entre organizaciones del mismo o distintos sectores.

3. La Huella Ambiental en el caso del ciclo integral del agua: Huella de Carbono y Huella Hídrica

De acuerdo con las recomendaciones de la Comisión Europea sobre la determinación de la HAO, la “Guía de la Huella Ambiental de Organizaciones” [1], debe adaptarse a cada caso en concreto, simplificándose o completándose en la medida de las necesidades. En este apartado se desarrolla el contenido que ha de tener un análisis de HAO para el ciclo del agua de un municipio de tamaño mediano como lo es el de Alcantarilla, en Murcia, con 40.907 habitantes empadronados en el año 2014, año base de este análisis.

Este desarrollo está basado en las recomendaciones de la guía, pero simplifica el modelo de acuerdo con la realidad del caso que nos ocupa. Además, tratándose de un análisis complejo por la definición multicriterio de la HAO, y dado que se trata del primer análisis que se realiza de modo global, el modelo ha de adaptarse a la disponibilidad de información, definiendo un análisis, en primera aproximación de la HAO. La definición del modelo adaptado se describe en los siguientes apartados.

3.1. Definición del objetivo del estudio de la HAO

El objetivo de este análisis de la huella ambiental del ciclo del agua no es otro que el de conocer los impactos ambientales que ocasiona este servicio que es vital para los ciudadanos de un municipio. Si bien alguna de las actividades involucradas en el ciclo del agua del municipio de Alcantarilla habían realizado un análisis de huella de carbono (siempre con alcance 1 y 2), o analizado el rendimiento de la explotación, que daría una idea de la huella hídrica de esa parte, hasta el momento nunca se había planteado un análisis multicriterio que además abarque todo el ciclo completo, abarcando desde el suministro de agua a la potabilizadora, hasta la salida del agua ya depurada desde la estación de depuración.

También tiene como objetivo este análisis permitir a los agentes involucrados (ayuntamiento, empresas concesionarias, comunidad autónoma) profundizar en la HAO,



extendiendo paulatinamente su alcance y contenido, definiendo puntos críticos que puedan ser monitoreados casi en tiempo real y faciliten la toma de decisión sobre ajustes en la gestión que redunden en una mayor sostenibilidad del servicio.

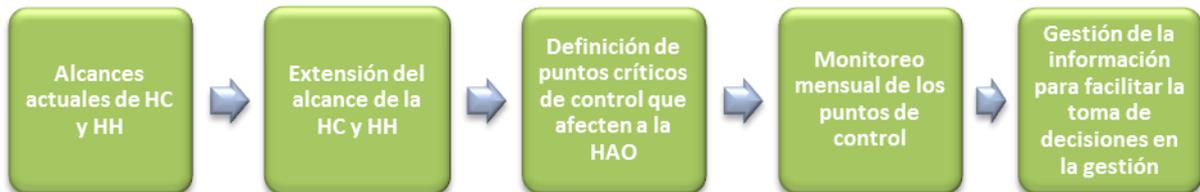


Diagrama de flujo para la implantación de una HAO

3.2. Definición del alcance de la HAO

El presente análisis corresponde al ciclo del agua de un municipio, incluyendo los servicios necesarios para completarlo:

- Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP)
- Estaciones de Bombeo de Agua Potable (EBAP)
- Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR)
- Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR)

Definición de la organización

El ciclo del agua en el municipio de Alcantarilla supone una organización compleja, en la que intervienen distintos organismos y empresas: Dado que el análisis incluye los servicios de ETAP, EBAPs, EBARs y EDAR, estas son las entidades involucradas en los distintos servicios:

- Ayuntamiento de Alcantarilla: Es el responsable de los servicios relacionados con la producción y distribución del agua potable en el municipio, si bien todos ellos se encuentran concesionados en manos de gestores privados.
- Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia (ESAMUR): Es el propietario y responsable final de la EDAR. La gestión de esta estación también se encuentra concesionada.
- HIDROGEA: Compañía concesionaria de los servicios de potabilización (ETAP) y distribución (EBAP) de agua potable, así como de la colección de aguas residuales y su bombeo (EBAR) hacia la EDAR.
- DAM Aguas: Compañía concesionaria del servicio de depuración de las aguas residuales (EDAR).



- Hero España: Es propietaria y responsable de la EBAR que dirige las aguas residuales (previamente tratadas por la propia empresa) hacia la EDAR del municipio.

Esta organización no representa una relación biunívoca con el ciclo del agua en Alcantarilla, sino que existen singularidades que en ocasiones escapan del análisis que se ha llevado a cabo en el presente trabajo:

- No toda el agua potable consumida en Alcantarilla es producida en la ETAP. Como se verá más adelante, el 10% de esta agua es comprada a terceros, ya potabilizada.
- No toda el agua que depura la EDAR corresponde al municipio de Alcantarilla. Como se comentará más adelante, una parte de las aguas residuales de la pedanía de Sangonera la Verde del municipio de Murcia son tratadas en esta EDAR. Esta cantidad está sin cuantificar.

Cartera de productos

En este apartado se define el producto generado en el ciclo del agua del municipio. También se cuantifica y se especifican parámetros a tener en cuenta a la hora de realizar los distintos inventarios. Esta información queda detallada en la siguiente tabla:

Aspecto	Detalle
Qué	Agua potable para abastecimiento urbano de ciudadanos y empresas
Cuánto	1.895.616 m ³
Cómo	Mediante un ciclo completo que incluye la potabilización del agua proveniente del Transvase Tajo-Segura, la distribución y la recogida de aguas residuales hasta su tratamiento y depuración total
Cuánto tiempo	El consumo y la depuración se realizan de modo instantáneo. No pasan más de unos días desde que el agua entra y sale de la ETAP y el mismo plazo de tiempo hasta que el agua depurada sale de la EDAR
Año	2014
Intervalo de notificación	Un año

Definición de la cartera de productos gestionados por la organización

Límites del sistema

Se ha comentado anteriormente los servicios que delimitan el sistema. Ahora se trata de puntualizar todos aquellos aspectos que son determinantes en la definición de estos límites para el análisis de la HAO:

- a) Límites organizativos



Los límites organizativos para el estudio de la HAO se definen en base a los distintos servicios que se engloban en el ciclo del agua del municipio. Éstos determinarán los impactos directos y son los que se listan a continuación:

- ETAP Los Guillemos
- EBAP Puente
- EBAR Pago las Viñas
- EBAR HERO
- EDAR Alcantarilla

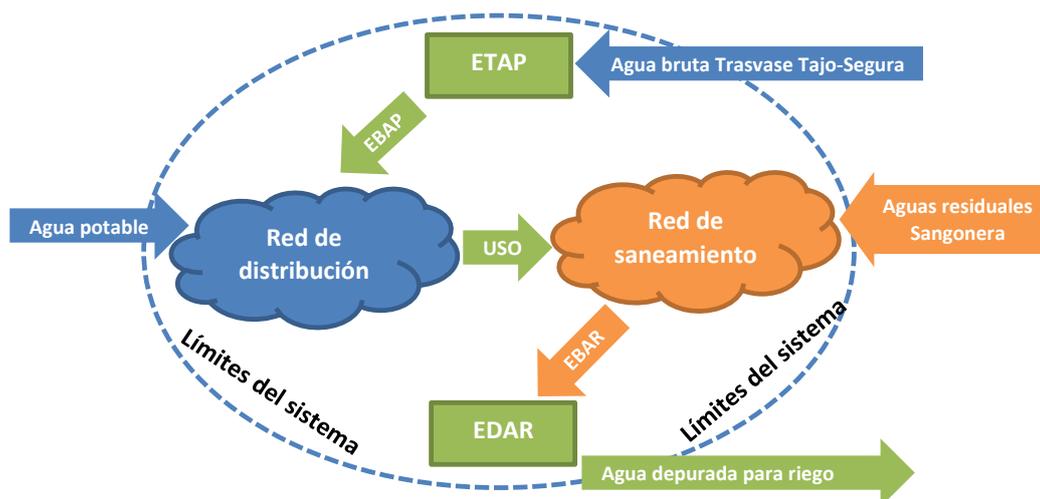
b) Límites de la HAO

De modo general, en el presente estudio sólo se han tenido en cuenta los impactos directos. Esto quiere decir que se ha obtenido información relativa a los consumos propios de la actividad y su impacto ambiental. Sin embargo, también se han incluido los impactos indirectos correspondientes al consumo de electricidad, ya que constituye la fuente de energía casi exclusiva en el desarrollo de todos los servicios que el ciclo del agua requiere.

De igual manera, y tal como requiere el análisis de Huella de Carbono en su alcance 1, se ha tenido en cuenta el transporte de los trabajadores dentro del límite organizativo tanto con vehículos de la empresa como con vehículos privados.

c) Diagrama de los límites del sistema

La figura siguiente representa el diagrama de los límites del sistema, y constituye una guía para la recolección de datos.



Límites del sistema para la determinación de la HAO



d) Análisis de las compensaciones

En el análisis de la Huella de Carbono y su impacto sobre el cambio climático, se analizarán posibles “compensaciones” que se estén produciendo, dentro del propio ciclo, por terceros. Se tendrán en cuenta acciones de mitigación del efecto invernadero y el cambio climático.

Selección de las categorías de impacto de huella ambiental y métodos de evaluación

La determinación de la HAO representa una gran dificultad por lo extenso de las categorías que se pueden tratar, no estando limitadas ni en su número ni en su alcance. Afortunadamente, la Guía de recomendaciones de la Comisión Europea, no sólo no obliga a analizar un cierto número de categorías, sino que aconseja comenzar por análisis sencillos de categorías conocidas, para posteriormente ir incrementando la complejidad del análisis y la exactitud de los resultados.

De este modo, en este trabajo se ha realizado un análisis somero de las distintas categorías que podrían suponer un impacto en la HAO, con el fin de elegir las que mayor impacto pueden tener sobre el medio ambiente.

1. Acidificación
2. Agotamiento de ozono
3. Agotamiento de recursos (agua)
4. Agotamiento de recursos (minerales)
5. Cambio climático
6. Ecotoxicidad agua dulce
7. Efectos en la salud humana (cancerígenos)
8. Efectos en la salud humana (no cancerígenos)
9. Elementos respiratorios inorgánicos
10. Eutrofización terrestre
11. Eutrofización acuática (dulce y marina)
12. Formación de ozono fotoquímico
13. Radiación ionizante (humanos)
14. Transformación de la tierra

Se proponen dos categorías principales con sus respectivos alcances:

a) Huella de Carbono (HC)

Bien conocida al existir una metodología específica definida por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En este caso, y tal como se ha adelantado en el apartado anterior, el alcance del análisis será 1 (emisión de GEI producidos por los combustibles directamente consumidos en el ciclo) y 2 (emisión de GEI producidos para poder generar y transportar la energía eléctrica que se requiere en el ciclo).

b) Huella Hídrica (HH)

Es un indicador del consumo y contaminación del agua dulce. En nuestro caso, representa el consumo total o específico de agua para poder desarrollar la actividad



objeto del análisis. En nuestro caso, sólo se tendrá en cuenta el impacto directo, producido por el consumo directo de agua en las actividades de los distintos servicios, pero no los indirectos, derivados del consumo de otros recursos que a su vez requieren agua en sus procesos de elaboración.

Categoría de Impacto de la HA	Modelo de evaluación de impacto de la HA	Indicador de la categoría de impacto	Fuente
Huella de Carbono (HC)	Modelo de Berna: potencial de calentamiento global (PCG)	Tonelada equivalente de CO ₂	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
Huella Hídrica (HH)	Modelo de Arjen Hoekstra de la Water Footprint Network (WFN)	m ³ de agua consumida por cada m ³ de agua potable registrada	Water Footprint Network

Categorías de impacto de la HAO con los indicadores correspondientes

3.3. Compilación de los recursos y de emisiones (fase de inventario)

La información necesaria para poder determinar la HAO con el alcance descrito en el apartado anterior es la siguiente:

- Huella de Carbono:
 - Consumo de combustibles fósiles
 - Consumo de energía eléctrica
 - Generación propia de energía eléctrica
- Huella Hídrica:
 - Volumen de agua bruta utilizada
 - Volumen de agua registrada
 - Volumen de agua residual a depurar
 - Volumen de agua depurada producida

Consumo de combustibles fósiles

En este apartado se engloban los combustibles consumidos en los procesos industriales y los directamente consumidos en los vehículos propios como medios de transporte de personas y mercancías. En este sentido, la EDAR dispone de una caldera de gasóleo que produce agua caliente para mantener la temperatura del digestor. Sin embargo, en el año base de los datos recogidos (2014), dicha caldera no llegó a arrancar utilizando gasóleo, sino, en cualquier caso, usando el propio biogás generado en el digestor. La mayor parte de esta demanda térmica se satisface aprovechando los calores residuales de la planta de cogeneración existente.



En cuanto a las emisiones ocasionadas por los vehículos propiedad de la empresa o de los trabajadores, se ha estimado el uso de 25 vehículos (5 de tamaño grande, 10 medianos y 10 utilitarios), y se ha estimado un recorrido medio diario de 15 km, durante los 220 días laborables del año. Finalmente, se estiman las emisiones generadas por kilómetro recorrido con los vehículos de la siguiente manera: 200 g/km (gramos de CO₂ equivalente por kilómetro) en el caso de vehículos grandes, 150 g/km en los medianos, y 100 g/km en los pequeños. Para ello se ha tenido en cuenta que la norma europea en vigor (Euro VI) establece una media en los vehículos nuevos de 120 g/km.

Consumo de energía eléctrica

La EDAR dispone de una central de cogeneración. Su demanda energética anual es de 1.092.941 kWh, mientras que la cogeneración genera 700.175 kWh, por lo que la demanda neta de la red es 392.766 kWh.

Centro de consumo	Energía (kWh)
EDAR	392.766,00
EBAP Puente	238,00
EBAR HERO	75.816,70
EBAR Pago las Viñas	64,60
ETAP Los Guillemos	331.280,40
Oficina Alcantarilla	32.691,20
Total consumida 2014	832.856,90

Demanda de energía eléctrica de red por cada centro de consumo

Volúmenes de agua gestionada

Tipo	Descripción	Volumen (m ³)
Agua bruta	Agua tomada del Traslase Tajo-Segura en la ETAP	2.155.690
Agua ETAP	Agua producida por la ETAP	2.134.137
Agua comprada	Agua potable adquirida a otros operadores	181.308
Agua registrada	Agua medida en los contadores de los clientes (facturada)	1.895.616
Agua residual	Agua residual que es tratada por la EDAR	2.595.208
Agua depurada	Agua depurada saliente de la EDAR	2.553.939

Volúmenes de agua gestionados en el ciclo dentro del alcance del trabajo

Respecto de la anterior tabla es necesario realizar las siguientes aclaraciones:



- La compañía distribuidora del agua potable adquiere agua potabilizada procedente de la ETAP de Contraparada (Murcia).
- El incremento de volumen existente entre el agua registrada y el agua residual se debe a que no existe una separación del agua de pluviales, sino que éstos son recogidos a través de la red de alcantarillado, llegando finalmente a la EDAR. Por otro lado, la propia red de alcantarillado tiene sus fugas. Además, la EDAR trata una parte del agua que llega desde Sangonera la Seca, por lo que es muy difícil establecer la cantidad real del agua registrada que finalmente acaba en la EDAR.

4. Determinación de la Huella de Carbono (Alcance 1-2)

4.1. Determinación de la Huella de Carbono actual

Para la determinación de la HC se ha utilizado la herramienta de referencia propuesta por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, para el alcance 1-2 [5]. El resultado del análisis ofrece una HC total de 186,3083 tCO₂eq, que corresponde a 11,5500 tCO₂eq correspondientes al alcance 1 y 174,7583 tCO₂eq q del alcance 2. Esto supone una HC específica de 98,28 gCO₂ por cada m³ de agua registrada.

4.2. Reducción de la Huella de Carbono por medidas de eficiencia energética

Mejora en bombeo

Se aconseja el cambio de la bomba de recirculación de la ETAP. Este cambio supondrá un ahorro energético anual equivalente a 4.072 kWh.

Cambio de alumbrado exterior a LED

La instalación actual dispone de 36 puntos de luz, que montan 28 lámparas de vapor de sodio (150 W) y 8 de halogenuros metálicos (400 W), suponiendo un consumo energético de 43.231 kWh/año. Se propone su sustitución por focos de 200 W y farolas de 45 y 90 W, todos ellos basados en tecnología LED. Esta nueva instalación supone un ahorro energético de 24.264 kWh/año.

4.3. Reducción de la Huella de Carbono por el uso de energías renovables

Se planten distintas instalaciones para el aprovechamiento de los recursos renovables a los que se tiene disposición en las distintas instalaciones que componen el ciclo global del agua en el municipio de Alcantarilla. Dado que no existen puntos de consumo de combustibles fósiles (distinto de los vehículos destinados a la movilidad), quedan descartadas las tecnologías renovables para usos térmicos, y el presente análisis se centrará en tecnologías de generación eléctrica.

El marco regulatorio actual lo constituye el Real Decreto 900/2015 [3], por el que se pueden utilizar recursos renovables para la generación de energía eléctrica bajo la



modalidad de autoconsumo. Es decir, la energía eléctrica generada se deberá consumir de manera instantánea, sin posibilidad de ser almacenada o vertida a la red. Este hecho constituye una seria y estricta restricción a la hora de dimensionar las instalaciones de energías renovables. En efecto, si la instalación queda sobre-dimensionada, parte de la energía generada quedaría sin poder ser aprovechada, y no se podría tener en cuenta en el balance de energético y económico, reduciendo su rentabilidad económica.

Las tecnologías analizadas han sido la mini-hidráulica y la fotovoltaica, por ser las mejor desarrolladas y para la aplicación que nos ocupa. No se ha analizado la posibilidad de aprovechamientos eólicos al no disponer de datos sobre el recurso, y porque las instalaciones fotovoltaicas han adquirido un nivel de rentabilidad muy alto también en instalaciones de mediana y pequeña potencia. En los casos

Un resumen de las instalaciones fotovoltaicas y minihidráulicas propuestas puede observarse en las siguientes tablas:

	EDAR	EBAR HERO	ETAP Los Guillelmos	TOTAL
Potencia instalada pico (kWp)	250	40	80	370
Potencia instalada nominal (kW)	250	40	80	370
horas (sobre pot pico)*		1.256		
Produccion aprovechada (kWh)	377.141	50.240	115.532	542.912
ratio MWhanual/kWp	1,51	1,26	1,44	1,47

*1570h con 80% de aprovechamiento

ESCENARIO CON PEAJE DE RESPALDO	EDAR	EBAR HERO	ETAP Los Guillelmos	TOTAL
Potencia instalación (kWp)	250	40	80	370
Ratio de inversión (€/Wp)	1,3	1,3	1,3	
Inversión	325.000 €	52.000 €	104.000 €	481.000 €
Ahorro anual	34.895 €	4.960 €	10.690 €	50.544 €
Peaje respaldo	4.842 €	776 €	1.483 €	7.102 €
Beneficio anual	30.052 €	4.184 €	9.206 €	43.442 €
Payback simple (años)	10,8	12,4	11,3	
Reducción emisiones (tnCO2eq)*	124,83	16,63	38,24	179,70

* 1kWh = 331 gCO2

ESCENARIO SIN PEAJE DE RESPALDO	EDAR	EBAR HERO	ETAP Los Guillelmos	TOTAL
Potencia instalación (kWp)	250	40	80	370
Ratio de inversión (€/Wp)	1,3	1,3	1,3	
Inversión	325.000 €	52.000 €	104.000 €	481.000 €
Ahorro anual	34.895 €	4.960 €	10.690 €	50.544 €
Peaje respaldo	- €	- €	- €	- €
Beneficio anual	34.895 €	4.960 €	10.690 €	50.544 €
Payback simple (años)	9,3	10,5	9,7	
Reducción emisiones (tnCO2eq)	124,83	16,63	38,24	179,70

* 1kWh = 331 gCO2

Instalaciones fotovoltaicas propuestas para autoconsumo



	EBAR HERO	ETAP Los Guillemos	TOTAL
Potencia instalada nominal (kW)	10	30	40
horas equivalentes*	2.700	2.700	
Producción aprovechada (kWh)	25.500	81.000	106.500
ratio MWhanual/kWp	2,55	2,70	

*90% de 3.000 h

ESCENARIO CON PEAJE DE RESPALDO	EBAR HERO	ETAP Los Guillemos	TOTAL
Potencia instalación (kW)	10	30	40
Ratio de inversión (€/kW)	1500	1500	
Inversión	15.000 €	45.000 €	60.000 €
Ahorro anual	2.518 €	7.495 €	10.012 €
Peaje respaldo	394 €	1.040 €	1.434 €
Beneficio anual	2.124 €	6.454 €	8.578 €
Payback simple (años)	7,1	7,0	7,0
Reducción emisiones (tnCO2eq)*	8,44	26,81	35,25

* 1kWh = 331 gCO2

ESCENARIO SIN PEAJE DE RESPALDO	EBAR HERO	ETAP Los Guillemos	TOTAL
Potencia instalación (kW)	10	30	40
Ratio de inversión (€/kW)	1500	1500	
Inversión	15.000 €	45.000 €	60.000 €
Ahorro anual	2.518 €	7.495 €	10.012 €
Peaje respaldo	- €	- €	- €
Beneficio anual	2.518 €	7.495 €	10.012 €
Payback simple (años)	6,0	6,0	6,0
Reducción emisiones (tnCO2eq)	8,44	26,81	35,25

* 1kWh = 331 gCO2

Instalaciones minihidráulicas propuestas para autoconsumo

4.4. Determinación de la Huella de Carbono final

Debido a que sólo se ha afectado al alcance 2 de la HC, es necesario conocer la nueva situación de demanda eléctrica por parte de los distintos centros de consumo. Esta nueva demanda eléctrica queda reflejada en la tabla siguiente.

Centro de consumo	Demanda inicial (kWh)	Medidas eficiencia (kWh)	Producción minihidráulica (kWh)	Producción fotovoltaica (kWh)	Demanda final (kWh)
EDAR	392.766			377.141	15.625
EBAP Puente	238				238
EBAR HERO	75.816		25.500	50.240	77
EBAR Pago las Viñas	64				65
ETAP Los Guillemos	331.280	28.336	81.000	115.532	106.413
Oficina Alcantarilla	32.691				32.691
Total	832.856	28.336	106.500	542.912	155.108

Demanda eléctrica en los centros de consumo una vez implementadas las medidas de eficiencia energética y energías renovables



El resultado del análisis ofrece una HC total de 53,8752 tCO₂eq, que corresponde a 11,5500 tCO₂eq correspondientes al alcance 1 y 42,3252 tCO₂eq del alcance 2. Esto supone una HC específica de 28,42 gCO₂ por cada m³ de agua registrada. Esto supone una reducción del 71,1% en la HC con respecto a la situación inicial.

Centro de consumo	HC inicial (tCO ₂ eq)	HC final (tCO ₂ eq)
EBAP Puente	0,07	0,07
EBAR HERO	21,99	0,02
EBAR Pago las Viñas	0,02	0,02
ETAP Los Guillemos	96,07	30,86
Oficina Alcantarilla	9,48	9,48
EDAR	47,13	1,88
HC Alcance 1+2	186,31	53,88
HC específica (gCO ₂ /m ³)	98,28	28,42
Tasa de reducción de HC	71,1%	

Tabla resumen de la mejora de la HC

5. Determinación de la Huella Hídrica

La Huella Hídrica (HH) es un indicador del consumo y contaminación de agua dulce, que contempla las dimensiones directa e indirecta. A modo de resumen, la HH es un indicador multidimensional compuesto por tres variables significativas que se definen de la siguiente manera:

- **HH Azul.** Se refiere al consumo de los recursos hídricos azules (agua dulce), ya sea superficial o subterránea, en una actividad concreta. Consumo se refiere a la pérdida de agua en cuerpos de agua disponibles en la superficie o en acuíferos subterráneos en el área de la cuenca. La pérdida ocurre cuando el agua se evapora, no regresa a la misma cuenca, es dispuesta al mar o se incorpora a un producto.
- **HH Gris.** Se refiere a la contaminación y está definida como el volumen de agua dulce que se requiere para compensar la contaminación que se ha llevado a cabo en el medio acuoso, a partir de las concentraciones naturales y estándares ambientales de calidad del agua.
- **HH Verde.** Se refiere al consumo de recursos de agua verdes, recuperación del agua de lluvia que no se convierte en escorrentía sino que se incorpora a productos agrícolas mediante riego u otros usos.
- **HH Indirecta.** Se refiere al volumen de agua incorporada o contaminada en toda la cadena de producción de un producto.



Estas definiciones provienen del modelo de Arjen Hoekstra de la Water Footprint Network (WFN), que es el que se ha pretendido seguir en este trabajo. En el caso que nos ocupa sólo es posible evaluar la HH Azul.

5.1. Huella Hídrica inicial

En ese caso, la HH podría considerarse como el volumen de agua demandada del Trasvase Tajo-Segura más la aportación de agua potable por parte de otros operadores, es decir, un total de 2.336.998 m³/a. Ese volumen, dividido entre la población empadronada en 2014 (40.907 habitantes), arroja una HH específica de 57,13 m³/hab/a.

Sin embargo, no parece apropiada esta medida, pues no permite valorar la eficiencia del ciclo en relación con las actividades que se llevan a cabo en él, sino que es penalizado por el uso del agua que realicen los habitantes de Alcantarilla. De esta manera, si bien bajo un criterio riguroso la HH sería la anteriormente mencionada, puede ser interesante conocer el rendimiento global del proceso de explotación del ciclo, es decir, la diferencia entre los flujos entrantes de agua y el agua registrada: el agua proveniente del Trasvase Tajo-Segura junto con la compra de agua potabilizada a terceros, menos el agua registrada. Esa diferencia representa 441.382 m³/a. Esta cantidad se debe a ineficiencias en el sistema que podrían ser mejoradas.

5.2. Acciones propuestas para la mejora de la Huella Hídrica

Si nos referimos a la HH de la WFN, las acciones de mejora supondrían influir también sobre los hábitos de consumo de la población de Alcantarilla. Si bien esa acción no solamente es deseable, sino muy recomendable, la subjetividad en la estimación de los resultados no ofrecería el rigor suficiente para ser tenida en cuenta. Además, de todos es sabido el buen uso del agua que los habitantes de la Región de Murcia hacen. En el caso de Alcantarilla, con un consumo registrado de 46,34 m³/hab/a, la eficiencia hídrica de sus habitantes es muy alta.

Por otro lado cabría analizar las pérdidas de agua que suceden en la red de distribución. La reducción de grandes pérdidas supone inversiones cuya rentabilidad está fuera de toda duda. Sin embargo, con un rendimiento global del 81,1%, la efectividad de la explotación es muy alta, y conseguir mejoras a este nivel supone grandes inversiones de dudosa rentabilidad económica. Sería por tanto necesario tener en cuenta otros aspectos como los medioambientales para acometer obras cuyo coste no podrá retornarse por el ahorro de agua conseguido.

Llegado a este punto sólo nos queda analizar posibles inversiones de bajo coste que pudieran suponer una mejora de la HH. En este sentido, la evaporación a la atmósfera a través de la capa superficial de los depósitos podría constituir un foco de pérdida de agua considerable. Si bien los depósitos generales de agua potable están cerrados (minimizándose las pérdidas), la gran balsa existente en la ETAP supone una gran superficie de agua a la intemperie y una pérdida por evaporación que podría ser considerable.



En este sentido, y con el fin de simplificar el estudio, se ha llevado a cabo una búsqueda bibliográfica sobre trabajos que se hayan llevado en instalaciones similares, con el objetivo de determinar ratios de evaporación anual en este tipo de balsas.

Se han llevado a cabo desarrollos teóricos validados empíricamente en balsas de agua ubicadas en el Oeste del Reino Unido (J.W. Finch y J.H.C. Gash [6]). Este modelo ofrece resultados de evaporación en balsas de agua en función de la temperatura del agua (en mm evaporados por m²). Se ha intentado extrapolar estos resultados a esta ubicación, utilizando como temperatura del agua de la balsa la temperatura media mensual del agua de red que establece el Código Técnico de la Edificación (DBHE sobre Ahorro de Energía). Fruto de ello, se obtiene que, mientras en el Reino Unido la tasa de evaporación es de 582 mm, el mismo ratio aplicado a Alcantarilla ofrecería valores del entorno de 1.080 mm. Qué duda cabe que ni la temperatura ambiente ni la humedad relativa en ambos lugares es similar, jugando siempre en contra en el caso de Alcantarilla (menor humedad y mayor temperatura).

Por otro lado, J.I. López Moreno [7] ofrece también datos sobre la evaporación en ciertos embalses pirenaicos. El resultado del estudio se recoge en la tabla XX. Los ratios resultado del análisis son muy dispares (entre 1.446 y 262 mm), no pudiendo obtener conclusiones relevantes.

Analizados ambos trabajos y conociendo las características de la balsa de la ETAP Los Guillemos, con elevados niveles de insolación y expuesta a las corrientes de aire, suponer una tasa de evaporación equivalente a 1.500 mm nos dejaría en el lado de la seguridad, al tratarse de un dato conservador. Esto equivaldría a una evaporación de 1,5 m³/m²/a.

La lámina de agua de la balsa tiene una superficie aproximada de 23.969 m², lo que supondría una evaporación anual de agua de la balsa de 35.953 m³/a. Para reducir este volumen de agua evaporada, se propone la colocación de superficies flotantes que impiden la evaporación. La efectividad de los elementos flotantes dependerá del ratio de superficie cubierta. En este caso, se estima una efectividad global del 70%, por lo que se reduciría en este porcentaje el agua evaporada en la balsa, es decir, 25.167 m³/a.

Tasa de evaporación	1.500 mm
Tasa de evaporación	1,5 m ³ /m ² /a
Superficie de la balsa	23.969 m ²
Volumen agua evaporada	35.953,5 m ³ /a
Ratio de reducción	70%
Reducción agua evaporada	25.167,45 m ³ /a

Tabla resumen del efecto de reducción del agua evaporada

5.3. Huella Hídrica final

La reducción del agua evaporada implica una reducción directa del agua demandada del Trasvase Tajo-Segura, lo que supone una mejora de la HH calculada anteriormente y de



la eficiencia del ciclo. De esta manera, la HH según la WFN se podría reducir en un 1,08%, y la HH por ineficiencias en la operación se reduciría en un 5,70%, mejorando el rendimiento global del ciclo hasta el 82,0%.

Tipo	Descripción	Datos iniciales	Datos finales
Agua bruta	Agua tomada del Trasvase Tajo-Segura en la ETAP	2.155.690	2.130.523
Agua ETAP	Agua producida por la ETAP	2.134.137	
Agua comprada	Agua potable adquirida a otros operadores	181.308	181.308
Agua registrada	Agua medida en los contadores de los clientes (facturada)	1.895.616	1.895.616
Agua residual	Agua residual que es tratada por la EDAR	2.595.208	
Agua depurada	Agua depurada saliente de la EDAR	2.553.939	
HH según WFN	Agua total consumida	2.336.998	2.311.831
Mejora			1,08%
HH WFN per cápita	Agua consumida por habitante y año	57,13	56,51
HH por ineficiencias en operación	Flujos de entrada que no llegan al agua registrada	441.382	416.215
Mejora			5,70%
Rendimiento del ciclo	Relación entre agua registrada y los flujos de entrada	81,1%	82,0%

Tabla resumen de la mejora de la HH

6. Conclusiones

Frente el reto del cambio climático el modelo de economía circular constituye una solución global para un problema global. La definición de Huella Ambiental, que contiene un número de criterios y parámetros a medir tan amplio como se quiera, constituirá en un futuro un instrumento para medir nuestro grado de sostenibilidad a la hora de desarrollar cualquier tipo de actividad.

El presente trabajo analiza la posibilidad de implantación de un modelo de economía circular en el ciclo integral del agua de un municipio mediano como puede ser Alcantarilla, en la Región de Murcia. Para ello se ha utilizado la guía europea para determinar la Huella Ambiental de una Organización (HAO) para definir un procedimiento sencillo que permita evaluar el efecto que tendría el uso de las energías renovables y de acciones de eficiencia energética en la reducción del impacto ambiental, basándose fundamentalmente en la Huella de Carbono (HC) y la Huella Hídrica (HH).

Sin embargo, la HAO aún necesita ser mejor definida en cuanto a su integración. El análisis independiente de una serie de criterios no facilita la integración de éstos en un único valor representativo (la HAO).



Por otro lado, el carácter confidencial de los datos requeridos para llevar a cabo un análisis exhaustivo ha limitado sobremanera el acceso a los mismos, por lo que, en ciertas ocasiones se han llevado a cabo aproximaciones y en otras no ha sido posible el estudio de ciertos criterios relativos a la HAO.

Una vez definido el alcance la HAO para el caso que nos ocupa, sí se ha podido constatar que la implementación de ciertas acciones de eficiencia energética y la utilización de las energías renovables permite una reducción importante de la HC (alcances 1-2) global del ciclo, hasta en un 71,1%.

De igual manera, se ha definido la HH para todo el ciclo y se ha propuesto una ingeniosa solución para reducir la tasa de evaporación en la balsa de acopio de agua bruta a la entrada de la ETAP. El impacto que esta propuesta tendría sobre la HH global sería del 1,08%, mejorando la eficiencia global de la organización en un 5,70%.

7. Bibliografía

- [1] *Guía de la Huella Ambiental de Organizaciones*. Comisión Europea
- [2] Victoria, F. *Competitividad y Cambio Climático*. Sección de Publicaciones del Consejo Económico y Social de la Región de Murcia (2016)
- [3] *Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo*. BOE n. 243 de 10 de octubre de 2015
- [4] *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. Comisión Europea
- [5] *Herramienta para el cálculo de la Huella de Carbono (alcances 1-2)*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
- [6] Finch, JW; Gasch, JHC. *Application of a simple finite difference model for estimating evaporation from open water*. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, Oxfordshire
- [7] López Moreno, JI. *Estimación de pérdidas de agua por evaporación en embalses del Pirineo*. Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC)