



LIFE11 ENV/ES/000569

Acción B8.

Descripción de los procedimientos de escalado

Description of the scale-up procedures

LIFE+ MINAQUA

Proyecto de demostración de ahorro de agua en instalaciones de lavado de vehículos mediante el uso de detergentes innovadores y tratamiento natural de las aguas residuales

Demonstration project for water in car wash premises using innovative detergents and soft treatment systems

Septiembre, 2016



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Introducción	5
2.	Procedimientos de escalado	6
2.1.	Procedimiento escalado pilotos: pre-tratamiento	6
2.2.	Procedimiento escalado pilotos: tecnologías de tratamiento naturales	7
2.2.1.	Zona Húmeda de Flujo Sub-Superficial Horizontal (ZHFSSH).....	7
2.2.2.	Zona Húmeda de Flujo Sub-Superficial Vertical (ZHFSSV)	10
2.2.3.	Infiltración-Percolación (IP).....	12
2.3.	Procedimiento escalado pilotos: desinfección final	14
3.	REPLICABILIDAD Y VIABILIDAD	16
3.1.	Situación del sector del automóvil: contexto actual	16
3.2.	Infraestructuras verdes y servicios ecosistémicos de los sistemas de depuración empleados	22
4.	Conclusiones.....	24
5.	Bibliografía	25
	Anexo I. Escalado instalación Montfullà	27
	Anexo II. Escalado instalación Miramón	28



Índice de Tablas

Tabla 1. Recomendaciones para el escalado de ZHFSSH	9
Tabla 2. Recomendaciones para el escalado de ZHFSSV	11
Tabla 3. Recomendaciones para el escalado de IP	13
Tabla 4. Calidad requerida según RD 1620/2007 para usos urbanos calidad 1.2. Servicios	14
Tabla 5. Consumo medio de agua por tipo de instalación de lavado de coches.....	20



1. Introducción

Este informe presenta las recomendaciones para el escalado de las diferentes tecnologías estudiadas,

- Zona Húmeda de Flujo Sub-Superficial Horizontal (ZHFSSH),
- Zona Húmeda de Flujo Sub-Superficial Vertical (ZHFSSV),
- Infiltración-percolación (IP),

así como los pretratamientos y tratamientos posteriores necesarios para el correcto funcionamiento de estas tecnologías y para la obtención de un agua de calidad óptima para su reciclado en las instalaciones de lavado de vehículos.

Si bien no era el objetivo inicial del informe, se ha considerado oportuno complementarlo con un apartado de replicabilidad y viabilidad de las tecnologías naturales estudiadas, fruto de los resultados obtenidos y la experiencia adquirida. Se ha interconectado pues el apartado dedicado a los aspectos a tener en cuenta en la replicabilidad de las tecnologías con los aspectos relacionados a su replicabilidad y viabilidad.

Adicionalmente, en los **Anexos 1 y 2** se presentan los cálculos realizados para el escalado de las plantas piloto de Montfullà y Miramón a partir de los datos del control de calidad e hidráulico de las plantas piloto (Acción C5), de los estudios de consumos de agua (Acción A5) y del estudio de reciclaje (Acción C6).



2. Procedimientos de escalado

2.1. Procedimiento escalado pilotos: pre-tratamiento

El agua de los diferentes procesos del lavado, se recoge normalmente por gravedad. Así pues, en las instalaciones de lavado de coche, se necesitará normalmente un primer depósito o decantador para la recogida de estas aguas. A partir de las conclusiones de funcionamiento de los pilotos se recomienda que exista siempre un pre-tratamiento antes de la aplicación de estas aguas a las diferentes tecnologías (ZHFSSH, ZHFSSV, e IP). Este pre-tratamiento debe constar de los elementos necesarios para eliminar la mayor parte posible de sólidos inorgánicos (especialmente finos y arenas) así como de aceites, grasas e hidrocarburos emulsionados, que colmatan con facilidad las matrices de estas tecnologías y provocan problemas de funcionamiento en los componentes electromecánicos (ej. válvulas).

Cualquier línea (combinación) de pretratamiento que permita este objetivo se considera adecuada (desbaste, decantador, separador de hidrocarburos, desarenador,...). Como ejemplo se puede instalar una rejilla de malla gruesa para los sólidos gruesos, un decantador que decante un porcentaje importante de sólidos inorgánicos y que tenga una salida en superficie para que las grasas e hidrocarburos emulsionados sean enviados a otra línea de tratamiento (ej. separador de hidrocarburos) antes de su vertido al medio o a conexión a la red de saneamiento. Otras alternativas podrían ser una rejilla de malla gruesa, desgrasador/separador de hidrocarburos/desarenador y finalmente un depósito.

Desde el decantador o depósito se debe instalar una bomba (a la mitad de altura de la lámina de agua para evitar recoger grasas y sólidos). Esta bomba debe ser específica para aguas residuales (tritadora preferentemente) e impulsará el agua a tratar a la tecnología escogida.



2.2. Procedimiento escalado pilotos: tecnologías de tratamiento naturales

Los parámetros/elementos más importantes para el diseño y escalado de estos tipos de tecnologías (zonas húmedas de flujo sub-superficial e infiltración-percolación) son:

- Elementos de diseño principales:
 - Tipo de medio filtrante
 - Altura del medio y lámina de agua
 - Plantas
 - Estructuras de entrada (distribución) y salida (drenaje)

- Operación:
 - Carga Hidráulica (CH). Es el caudal aplicado en la superficie por unidad de tiempo. Normalmente se expresa en m/día o cm/día.
 - Carga orgánica. Se expresa en n gramos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) o Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) por área (m²) y por tiempo (día).
 - Régimen de alimentación: continuo o intermitente, y alimentación secuencial (con periodos de reposo) o sin periodos de reposo.

La determinación del área en esta tecnología es el parámetro de diseño más importante de escalado. Esta área se calcula a partir de fórmulas de diseño (para aguas residuales urbanas) y más frecuentemente en métodos simples basados en los resultados experimentales:

- Área por habitante equivalente

- Área por gramos de DQO o DBO₅

Nuestra aproximación se realizará por estos métodos simplificados a partir de las experiencias del estudio, y traduciéndose en m² de cada tecnología por vehículo (coche o vehículo industrial). Estos cálculos se han realizado a partir de la CH máxima en cada caso que permite una calidad de salida apta para el reciclaje. La aproximación es válida para escenarios similares (especialmente de temperatura).

2.2.1. Zona Húmeda de Flujo Sub-Superficial Horizontal (ZHFSSH)

Tal y como se describe en los informes de la acción C5 *Informes de resultados del monitoreo de la eficiencia de los pilotos I, II y III*, esta tecnología (ZHFSSH) con el diseño y operación estudiados ha sido la que ha resultado menos adecuada de las tres tecnologías para el tratamiento de este tipo de aguas por los siguientes motivos:



- Mayor sensibilidad a la colmatación por grasas y sólidos. Especialmente la zona de la entrada.
- Mayor dificultad en la degradación de DQO soluble y menor eliminación de *E. coli*, especialmente a cargas hidráulicas (CH) elevadas.
- La alimentación de estas ZHFSSH debe ser en continuo para su mejor funcionamiento. En caso que no se puedan alimentar por gravedad, en instalaciones de poco caudal, existe dificultad en la operación y mantenimiento de bombas de caudal pequeño y aguas residuales con gran concentración de sólidos.
- La CH máxima que permite llegar a los niveles objetivos de reciclado del real decreto de reutilización en instalaciones de lavado de vehículos ha sido de 10 cm/día aproximadamente (mucho menor que las otras 2 tecnologías estudiadas).
- Crecimiento irregular de *Phragmites australis* debido a la baja concentración de nutrientes y a la forma de alimentación de la ZHFSSH (crecimiento elevado cerca de la zona de entrada y muy bajo en las zonas cercanas a la salida).
- Elevada Evapotranspiración (aprox. un 20% de caudal se pierde), por lo que resulta en menor disponibilidad de agua tratada para reciclar y concentración de sales.

Así pues, si se opta por aplicar esta tecnología que, a pesar de los motivos anteriormente comentados, es la tecnología con un diseño y operación más sencilla y más económica, se recomienda:

- Eliminar totalmente aceites y grasas.
- Eliminar la mayor parte de sólidos inorgánicos.
- Diseñar una zona de entrada diferente a la del piloto estudiado: con una zona de entrada mucho más importante (esto es, como los sistemas “clásicos” de ZHFSSH con una zona de entrada que ocupe toda la sección horizontal de la ZHFSSH y con un sistema de distribución del agua por canal a lo largo de toda esta sección). Así pues, el diseño en circuito del piloto estudiado, se tendría que diseñar de manera completamente diferente.

A partir de la experiencia de monitoreo de los 2 años y teniendo en cuenta los comentarios anteriores se presentan en la **Tabla 1** las recomendaciones de escalado de esa tecnología.



Tabla 1. Recomendaciones para el escalado de ZHFSSH

ZONA HÚMEDA FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL	
Alimentación	Continua
Pre-tratamiento	Imprescindible la instalación de un pretratamiento que elimine totalmente aceites y grasas e hidrocarburos emulsionados, así como la mayor parte posible de sólidos inorgánicos
Sistema de distribución	Se recomienda a lo largo de toda la sección de entrada y con canales o sistema de distribución no sensibles a la colmatación
Circuito de agua	Debido a la necesidad de repartición del agua en toda la sección horizontal, el circuito de agua en serpentín no es viable, debiéndose diseñar la ZHFSSH (sección y forma) de la manera tradicional empleando la Ley de Darcy para los cálculos
Material filtrante	Zonas de entrada y salida (grava de 25-40 mm adecuada) Zona filtrante (grava 12-18 mm)
Vegetación	<i>Phragmites australis</i> u otra planta macrófita que pueda adaptarse a aguas residuales y a bajas concentraciones de nutrientes
Estructura de salida	Cualquier sistema de regulación de lámina de agua dentro del lecho
Carga hidráulica	CH máxima de alrededor de 12 cm/día
Caudal de salida	Aproximadamente el 20% del caudal de entrada se pierde por evapotranspiración a partir del segundo año de funcionamiento
Área	A partir del estudio de consumos de agua por vehículo de Montfullà se han realizado los cálculos de escalado del área de ZHFSSH. Los datos de consumos considerados han sido: - General vehículos (coches + industriales): 350 L/lavado - Coches: 250 L/coche - Vehículos industriales (camiones, autobuses): 450 L/vehículo El área de ZHFSSH para tratar el 100% de agua residual generada para su reciclaje en cada caso es: - General vehículos $\approx 2,5 \text{ m}^2/\text{vehículo}$ - Coches $\approx 1,8 \text{ m}^2/\text{coche}$ - Vehículos industriales $\approx 3,2 \text{ m}^2/\text{vehículo industrial}$



2.2.2. Zona Húmeda de Flujo Sub-Superficial Vertical (ZHFSSV)

Tal y como se describe en los informes de la acción C5 *Informes de resultados del monitoreo de la eficiencia de los pilotos I, II y III*, esta tecnología con el diseño y operación estudiado ha resultado una óptima opción para el tratamiento de estas aguas. El único factor limitante es la variabilidad en los valores de la turbidez únicamente durante el primer año de funcionamiento. Esta variabilidad disminuye de manera “natural” con el paso del tiempo: se ha observado que a medida que han aumentado los meses de operación disminuye, debido a la madurez del filtro (mayor biomasa en superficie y en el filtro que disminuye las velocidades de infiltración y limita los posibles caminos preferenciales del agua). Asimismo, podría también reducirse esta velocidad fraccionando más la aplicación diaria del agua. Se ha observado una menor variabilidad con 8 alimentaciones en comparación con cuatro. Así se recomienda un mínimo de 8 alimentaciones por día (con un máximo de 15-20 para no saturar el medio y entrar en condiciones anaerobias). Otra opción para obtener una calidad más constante podría pasar por operar la ZHFSSV de manera más parecida a la IP, con la aplicación de un caudal instantáneo más bajo durante más tiempo. Aun así, esta posibilidad tendría que estudiarse a nivel piloto, con un diseño de distribución del agua adecuado para asegurar un buen reparto en superficie, y asimismo se tendrían que asegurar condiciones aerobias.

Aunque para esta tecnología no se han descrito problemas de colmatación se recomienda igualmente seguir las recomendaciones del apartado 2, implementado un pre-tratamiento eficaz para la eliminación de aceites y grasas y de sólidos inorgánicos, que alargaría sustancialmente la vida útil del equipo y evitaría posibles problemas de colmatación de la matriz filtrante.

A partir de la experiencia de monitoreo de los 2 años, y teniendo en cuenta los comentarios anteriores, se presentan en la **Tabla 2** las recomendaciones de escalado de esa tecnología.

Tabla 2. Recomendaciones para el escalado de ZHFSSV

ZONA HÚMEDA FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL	
Alimentación	Discontinua (por "batches" o núm. de aplicaciones): 8 aplicaciones al día El caudal instantáneo de la bomba en punto de aplicación es de 4,8 m ³ /h, pudiéndose reducir para obtener una percolación más lenta siempre y cuando se asegure la inundación en superficie de todo el filtro y condiciones aerobias en el mismo
Pre-tratamiento	Imprescindible
Sistema de distribución	Tuberías aéreas: el número de tuberías dependerá del caudal instantáneo aplicado y debe permitir una inundación total del filtro
Material filtrante	Capas: filtrante, intermedia y drenaje Capa Filtrante (granulometrías aproximadas) <ol style="list-style-type: none"> 1. En el piloto se utilizaron dos capas de material filtrante: <ul style="list-style-type: none"> - Capa superior de arena fina calibrada mínimo 0,4 m de altura; 0-3 mm (d₁₀ 0,30-0,40 mm; CU: 3-4, finos <3%) - Capa inferior de grava fina 0,4 m de altura (grava 2-8 mm) Se podrían sustituir estas dos capas por una sola capa de 1 m de altura aprox. y granulometría de arena similar, consiguiéndose probablemente mejores rendimientos para este tipo de influente y para el reciclado 2. Capa de transición 0,10 m (grava 7-12 mm) 3. Capa de drenaje 0,20 m (grava 25-40 mm) Se debe contar con un espacio libre desde el borde hasta la grava de 40 cm para la distribución del agua en superficie sin desbordar
Vegetación	<i>Phragmites australis</i> u otro macrófita que pueda adaptarse a aguas residuales y a bajas concentraciones de nutrientes
Estructura de salida	Tubo de drenaje
Carga hidráulica	CH máxima de alrededor de 36 cm/día
Caudal de salida	Aproximadamente el 10% del caudal de entrada se pierde por evapotranspiración a partir del segundo año de funcionamiento
Área	A partir del estudio de consumo de agua por vehículo de Montfullà se han realizado los cálculos de escalado de la ZHFSSH. Los datos utilizados de partida han sido: <ul style="list-style-type: none"> - General vehículos (coches + industriales): 350 L/lavado - Coches: 250 L/coche - Vehículos industriales (camiones, buses): 450 L/vehículo El área de ZHFSSV para tratar el 100% de agua residual generada para el reciclaje en cada caso es: <ul style="list-style-type: none"> - General vehículos ≈ 1 m²/vehículo - Coches ≈ 0,7 m²/coche - Vehículos industriales ≈ 1,3 m²/vehículo industrial



2.2.3. Infiltración-Percolación (IP)

Tal y como se describe en los informes de la acción C5 *Informes de resultados del monitoreo de la eficiencia de los pilotos I, II y III*, esta tecnología con el diseño y operación estudiado ha resultado una opción excelente para el tratamiento de estas aguas en cuanto a calidad de salida (con un tratamiento previo de filtro de anillas aparte de la línea de pretratamiento general). La incorporación de este elemento previo (filtro de anillas o similar) para evitar la colmatación de los goteros y la necesidad de instalar una red de goteros con purga, hacen necesario el mantenimiento de más elementos que en las otras tecnologías.

A partir de la experiencia de monitoreo de los 2 años, y teniendo en cuenta los comentarios anteriores, se presentan en la **Tabla 3** las recomendaciones de escalado de esa tecnología.

Tabla 3. Recomendaciones para el escalado de IP

INFILTRACIÓN-PERCOLACIÓN (IP)	
Alimentación	<p>Discontinua (por “batches” o núm. de aplicaciones) con 8 aplicaciones al día y secuencial (5 días de alimentación / 2 días de reposo)</p> <p>Se podrían realizar 6 días de alimentación / 1 reposo coincidiendo con el día de cierre de la instalación, ya que con los pretratamientos y operación y mantenimiento efectuados no se ha detectado colmatación de la matriz</p>
Pre-tratamiento	<p>Imprescindible</p> <p>Aparte del pretratamiento general se recomienda, debido al sistema de distribución, un sistema de filtro de anillas (batería de 4 filtros de anillas de 1 ½” de 120 mesh en paralelo) o similar que elimine los sólidos más gruesos</p>
Sistema de distribución	<p>La distribución del agua se realiza mediante líneas con goteros auto compensados termo sellados de 2,3 L/h. Goteros enterrados a 10 cm y separados 0,4 m</p> <p>Es imprescindible la instalación de líneas de goteros con sistema de purga, para la limpieza mínima semanal de estos sistemas, ya que acumulan material (grasas, etc.) que provoca su colmatación sin estas operaciones de limpieza</p>
Material filtrante	<p>Capas: filtrante, intermedia y drenaje</p> <p>Capa filtrante: (granulometrías aproximadas)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Arena fina calibrada 1 m de altura mínimo; 0-3 mm (d_{10} 0,30-0,40 mm; CU: 2-4, finos <3%) - Capa inferior de grava fina 0,4 m de altura (grava 2-8 mm) <p>Capa transición 0,10 m (grava 7-12 mm)</p> <p>Capa drenaje 0,20 m (grava 25-40 mm)</p>
Vegetación	<p>Césped usado Semillas Zulueta mezcla Compact (10% <i>Lolium perenne</i>, 5% <i>Poa pratensis</i> y 85% <i>Festuca arundinacea</i>). La función del césped es únicamente ornamental y para evitar pérdidas de arena por viento aunque se considera que mejora la distribución del agua</p>
Estructura de salida	Tubo de drenaje
Carga hidráulica	CH máxima de alrededor de 36 cm/día
Caudal de salida	Sin pérdidas significativas
Área	<p>A partir del estudio de consumo de agua por vehículo de Montfullà se han realizado los cálculos de escalado de la IP para</p> <ul style="list-style-type: none"> - General vehículos (coches + industriales): 350 L/lavado - Coches: 250 L/coche - Vehículos industriales (camiones, buses): 450 L/vehículo <p>El área de IP para tratar el 100% de agua residual generada para el reciclaje en cada caso es:</p> <ul style="list-style-type: none"> - General vehículos \approx 1 m²/vehículo - Coches \approx 0,7 m²/coche - Vehículos industriales \approx 1,3 m²/vehículo industrial

2.3. Procedimiento escalado pilotos: desinfección final

El objetivo básico de las plantas piloto es la de generar un agua residual tratada con una calidad apta para su reciclaje en el lavado de coches (en los arcos de las fases de lavado que sean más oportunos). A nivel legal, es importante destacar que se trata de reciclar y no reutilizar ya que el agua tratada por los pilotos se va a usar en las mismas instalaciones y para el mismo uso. No existe normativa de carácter obligatorio para el reciclado. Existen algunas recomendaciones de casas comerciales (de uso interno) sobre la calidad que debe tener el agua (de red o reciclada) para ser utilizada en los equipos de lavado. Al no haber una normativa legal que indique límites específicos para la mayoría de parámetros para el reciclado, en el presente estudio se han tomado como marco de referencia los valores que dicta el Real Decreto 1620/2007 “por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas”. En concreto, en el Anexo I.A se indican los criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos. En concreto en este anexo se indica la calidad requerida para 1. Usos Urbanos/Calidad 1.2/Servicios/ d) Lavado industrial de vehículos.

La **Tabla 4** presenta los criterios de calidad para la reutilización de aguas residuales para usos urbanos, calidad 1.2. Servicios (entre los cuales el lavado industrial de vehículos). Esos valores no son de obligado cumplimiento en nuestro estudio (al ser reciclaje y no reutilización), pero nos permitirá comparar la calidad obtenida en nuestro estudio con los valores del decreto y así asegurarnos que el agua a reciclar no presenta ningún riesgo sanitario o químico.

Tabla 4. Calidad requerida según RD 1620/2007 para usos urbanos calidad 1.2. Servicios

Uso del agua previsto	Valor máximo admisible				
	Nematodos intestinales	<i>E. coli</i>	Sólidos en Suspensión	turbidez	Otros criterios
Calidad 1.2. Servicios a) Riego de zonas verdes urbanas b) Baldeo de calles c) Sistemas contra incendios d) Lavado industrial de vehículos	1 huevo/10L	200 UFC/100mL	20 mg/L	10 UNT	<i>Legionella</i> spp. 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)

En general los resultados de salida de *E. coli* para las 3 tecnologías indican que las aguas tratadas serían aptas para la reutilización según el RD 1620/2007 (exceptuando ZHFSSH a



CH > de 0,1 m/día). Se recomienda para mayor seguridad una desinfección final con un desinfectante que genere un residual (como el cloro) para reducir el riesgo sanitario. Una cloración o similar permitiría tener cloro residual que actuaría de desinfectante en las tuberías que conducirían el agua residual desde la salida de las tecnologías hasta los puntos de reciclado de agua (como la lanza a presión, los arcos de lavado) evitando así recontaminaciones o crecimientos en las tuberías.

Para el reciclaje de las aguas tratadas se necesitará un depósito de almacenaje del agua con un clorador automático en entrada en función del caudal, y controlar que se mantenga en salida un cloro residual entre 0,5-1 mg/L. Este depósito se tiene que dimensionar de tal manera que el agua no quede almacenada más de 48 horas (Pascual, 2005) y asimismo debe tener una capacidad suficiente para intentar cubrir la demanda de agua en la instalación.

El agua recuperada se puede utilizar en las diferentes fases de lavado, especialmente se recomienda su uso en las primeras fases (pre-lavado y lavado): lanza a presión, y arcos de lavado (con o sin cepillos).

3. REPLICABILIDAD Y VIABILIDAD

En este apartado se analizará brevemente la situación actual del mercado del lavado de vehículos, en base a la literatura disponible, para poder analizar esta información conjuntamente con la propuesta de escalabilidad hecha fruto de la experiencia piloto y el conocimiento y datos adquiridos con el proyecto MinAqua. Conocer la tipología, ubicación, proveedores, consumos de recursos, etc. predominantes en el sector así como las tendencias futuras nos permitirá analizar mejor las posibilidades de replicabilidad y viabilidad de las propuestas tecnológicas del proyecto MinAqua (sección 3.1). Si bien no ha sido objeto de este proyecto, creemos oportuno, para reforzar los argumentos en cuanto a la viabilidad de estos sistemas de depuración en el reciclaje de agua residual del lavado así como su replicabilidad al mismo sector y otros, analizar estos sistemas desde el punto de vista de una economía circular, considerando brevemente su valor como infraestructuras verdes y los servicios ecosistémicos que ofrecen (sección 3.2).

3.1. Situación del sector del automóvil: contexto actual

El sector del automóvil es un sector importante en Europa. En las carreteras europeas hay aproximadamente 291 millones de vehículos, o uno para cada dos personas (498 coches por cada 1000 habitantes) (ACEA, 2014). Esto indica que el parque de vehículos es importante y que en consecuencia lo serán también todos los negocios y servicios asociados al mantenimiento del vehículo, entre ellos el sector del lavado del automóvil.

En base a los resúmenes y abstractos disponibles de los estudios de mercado del sector de lavado de vehículos (Research and Markets, 2010; Verdict Trend Report, 2015; Global Industry Analysts Inc., 2016) podemos resumir la siguiente información acerca del mercado europeo del sector de lavado del automóvil:

1) Características generales del sector de lavado de vehículos en Europa:

- Hay tres tipos principales de instalaciones de lavado de vehículos: puentes de lavado (*rollover* o *in-bay* automático), túneles de lavado (*conveyor*, con cadena de arrastre del vehículo) y lavados manuales o auto-lavados (*self-service*, *boxes*, *jet washes*).
- Los principales canales comerciales de lavado son las estaciones de servicio (siendo el canal principal o más frecuente en Europa). Los operadores independientes suelen tener equipos bien mantenidos y rendimientos elevados, entre los cuales los lavados automáticos tipo puentes o *rollover* son por valor los mayores en la región, seguidos del lavado manual (con diferentes grados de penetración en Europa debido a las diferentes legislaciones).

- La bibliografía disponible no indica la ubicación de los sistemas de lavado de vehículos, pero según nuestra experiencia la mayoría de estaciones de servicio, y por ende servicios de lavado, están ubicadas en medio urbano – ya sea dentro de las ciudades o en polígonos industriales – siempre intentado buscar un lugar de paso de vehículos; sin embargo, existen también otros actores activos como los operadores de lavado comercial de vehículos (instalaciones destinadas específicamente al lavado del vehículo de propiedad “industrial”), que también se encuentran en medio urbano y polígonos industriales.
- En el año 2009 había 916 millones de estaciones comerciales de lavado y de promedio cada vehículo se limpiaba 4,8 veces al año (según datos de los 8 mercados estudiados: UK, Francia, Holanda, Bélgica, Suecia, Alemania, España e Italia). El mercado estaba valorado en 4,423 M€ (año 2009).

2) Ejes impulsores del mercado (*market drivers*) y tendencias:

- La industria del lavado de vehículos se ha visto afectada por la recesión económica internacional (el uso habitual del coche así como la demanda de combustible han sido menos resilientes que habitualmente), con lo cual el mercado se está reinventado y enfocándose más en mejorar las ventas de los distribuidores y en mejorar los criterios de calidad del lavado, velocidad, cuidado del vehículo y relación calidad-precio (cuatro criterios que son de importancia para los consumidores).
- La situación de crisis económica generó nuevos retos para la industria del lavado del automóvil. En 2009 el estudio apuntaba que el sector no se recuperaría adecuadamente hasta el 2015 como muy pronto. Los estudios muestran que la tendencia al incremento del número de lavados será gracias a una reducción del precio (lavados *low-cost*) y a la oferta de programas de fidelidad. Los servicios más afectados por esta tendencia serán los puentes automáticos o *rollovers*.
- Un crecimiento entre 2012 y 2014 del parque de automóviles repercutió también positivamente en el número de lavados (especialmente en Alemania y Turquía). De hecho, los estudios más recientes indican un crecimiento del 0,1 por año entre 2013 y 2014 gracias a la reducción de los precios y el incremento de la renta disponible. El incremento del parque de automóviles en Europa ofrece, especialmente para los mercados en crecimiento como Turquía, muchas oportunidades para los operadores de lavado de vehículos.
- Si bien ha habido una recesión en el número de lavados, los estudios apuntan que las oportunidades de mejora van encaminadas a:
 - La consolidación de los lugares de lavado y creación de nuevos posibles emplazamientos (los centros comerciales aparecen como una oportunidad de crecimiento)



- La tendencia de muchos conductores, durante la crisis, a lavar el coche en casa tiene que revertirse recordando los beneficios de los lavados comerciales tanto en términos económicos como ambientales.
- Las cuestiones ambientales están afectando y teniendo un impacto cada vez mayor en el sector del lavado de coches (Alemania es el país con las regulaciones más estrictas y con un mercado más potente; la oportunidad de desarrollar nuevos productos más biodegradables y ecológicos, el desarrollo de tecnologías más eficientes en cuanto al uso del agua, etc.)
- La aparición de nuevos sistemas de lavado a mano está empezando un nuevo debate ambiental dentro del sector

3) Breve resumen de los perfiles encontrados en diferentes países:

Francia: de promedio cada vehículo en Francia se lava unas 6 veces al año. La instalación que más prevalece son los boxes de lavado por el propietario del vehículo (*jet washes*, auto-lavado), y el canal más frecuente son las estaciones de servicio.

Alemania: tiene el mercado de lavado de automóviles más grande de Europa (tanto en tipos de instalaciones como en valor). El tipo más frecuente son los túneles o *rollovers*, el canal más frecuente son las estaciones de servicio (aunque aproximadamente un tercio está localizado en sitios independientes de estaciones de servicio). Las regulaciones más estrictas hacen que haya pocos lugares de lavado manual y que sean los sistemas automáticos los más utilizados.

UK: de promedio los vehículos se limpian 8 veces al año. La mayoría de instalaciones son boxes de lavado (*jet washes*) y la mayoría de estaciones de servicio cuentan con servicios de lavado (el sector de lavado independiente es muy minoritario, en contraposición con el lavado manual y lavar en casa).

Bélgica: cada vehículo de promedio se lava 7 veces al año. La instalación más común son los boxes de lavado (*jet washes*), y en cuanto a valor de mercado el mayor son las estaciones comerciales independientes de lavado.

Holanda: el promedio de limpieza del vehículo es de 6 veces al año. Las instalaciones más comunes son los boxes de lavado en estaciones de servicio.

Suecia: los vehículos se lavan menos frecuentemente que en otros países de la región europea. El tipo de lavado más frecuente son los túneles automáticos (*rollover*) debido al clima (frío) mayoritariamente ubicados en estaciones de servicio. La legislación también ha restringido la aparición de sitios de lavado manuales. Lavar en casa o en boxes de auto lavado son las modalidades más utilizadas.



España: los vehículos registrados en España son los que más frecuentemente se lavan de toda la región europea (el estudio no nos da un promedio como en otros países, pero con esta afirmación podemos saber que al menos se lavan más de 8 veces al año, que es el valor más alto que nos había dado la bibliografía). El tipo de instalaciones más frecuentes son los boxes de lavado, y las estaciones de servicio son también el canal más frecuente. También se registra limpieza en casa, aparte del lavado automático.

Italia: por valor es el tercer mercado más grande. La mayoría de lavados están ubicados en las estaciones de servicio. Los vehículos se lavan al menos una vez al año en una instalación comercial de lavado (independiente).

De forma resumida vemos que prevalece en Europa el lavado automático con agua y productos detergentes y de acabado específicos para este sector. En las estaciones de servicio es dónde se ubican principalmente los servicios de lavado (son los principales operadores y canales; en España el mayor canal son las Estaciones de Servicio de Repsol). En algunos lugares en concreto, puede predominar el operador independiente que se diferenciará por algún valor añadido respecto al servicio ofrecido en las estaciones de servicio (tipo de detergentes, limpieza de interiores, pre-lavado con lanza a presión antes de entrar al túnel, precios *low-cost* con servicios extra, etc.). En las estaciones de servicio también predomina el auto-lavado con lanzas a presión (boxes o *jet washes*) y los puentes de lavado automático (*rollovers*), ya que son más fáciles de instalación y operación (al estar el vehículo parado).

4) Consumo bruto de agua en la industria del lavado de coches y ejemplo de costes asociados al reciclaje:

El consumo bruto de agua en la industria del lavado de coches, y por tanto la cantidad de agua residual de lavado producida, dependerá del tipo de lavado y de la cantidad de vehículos lavados. En la **Tabla 5** mostramos un resumen de consumo de agua por tipo de lavado expresado en litros por lavado (incluye todas las fases de lavado y es consumo bruto, esto es, sin tener en cuenta el origen del agua).

Como muestran los datos, sobre todo en instalaciones tipo puente y túnel de lavado, los consumos de agua pueden variar mucho de una instalación a otra. Infiere tanto el tipo de instalación, como el tamaño del vehículo y el programa elegido por los clientes (según el número de etapas de lavado que quieran). Sin embargo, creemos que los promedios encontrados en los estudios de consumos del proyecto LIFE MINAQUA (MinAqua A5), avalados por un monitoreo de prácticamente 4 años, se pueden considerar valores estándar de consumo por tipo de vehículo y son coherentes con otros estudios disponibles en la literatura y resumidos en la primera columna de la **Tabla 5** (Huybrechts



et al., 2002; Janik y Kupiec, 2007; Fundación Ecología y Desarrollo; Nordic Ecolabelling, 2013):

- 250-300 L / coche en túneles de lavado
- 400-500 L / vehículo industrial (camiones, buses) en puentes de lavado
- 60-80 L / vehículo en boxes de auto lavado

Tabla 5. Consumo medio de agua por tipo de instalación de lavado de coches

Tipo de lavado	Consumo de agua (L/lavado) (Huybrechts <i>et al.</i> 2002, Janick y Kupiec 2007, Zaneti <i>et al.</i> 2012)	Life MinAqua (estudio de consumos)
Puente de lavado	100 – 350	-
Túnel de lavado	200 – 650	252 ¹ - 295 ²
Box auto lavado	70 – 80	66 ³
Lavado de camiones	350 – 900	440 ⁴
Lavado a mano	50 – 500 ⁵	-

A modo de ejercicio demostrativo mostramos algunos datos del coste energético versus el coste del agua. Son datos recogidos en las plantas piloto de Montfullà y durante las pruebas de reciclaje realizadas en la misma planta (recordar que el estudio económico completo se encuentra en el informe de la acción C7).

- El sistema de reciclaje a nivel piloto cuenta con dos bombas impulsoras del agua tratada en el sistema de plantas piloto hacia el tanque de cloración (son dos ya que hay un depósito pulmón intermedio; hay que tener en cuenta que en una planta real con un bombeo sería suficiente, con depósitos dimensionados adecuadamente).

¹Valor obtenido en el túnel de lavado de coches de Montfullà (media enero 2013 a febrero 2016); es agua total consumida sin tener en cuenta el tipo de agua (red, reciclada, lluvia, etc.)

²Valores obtenidos en el túnel de lavado de coches de Miramón (media julio 2013 a mayo 2016, con incorporación de una lanza a presión en el prelavado a finales de 2015 que se empieza a contabilizar en febrero 2016 con un nuevo contador)

³Promedio aproximado obtenido a partir de 5 boxes de auto lavado ubicados en la estación de servicio de Miramón (San Sebastián) con datos de abril 2013 a abril de 2016.

⁴Valores del puente de lavado de camiones de Montfullà (incluye lanzas a presión manuales con agua caliente como prelavado y seguidamente el programa elegido en el puente de lavado con cepillos). Es agua total bruta consumida, sin tener en cuenta que una parte es reciclada.

⁵Según la manera como se haga, con esponja, cubo o manguera con salida regulable y que se puede cerrar (cuidado con la contaminación difusa); o según se haga con manguera dejando fluir el agua durante todo el proceso.



Características de la bomba: DRAINEX monofásica 100 MA (impulsor vortex): 0,75 kW de potencia absorbida.

- Considerando pérdidas de carga y alturas de impulsión, sabemos que aproximadamente se necesitan unos 20 minutos para impulsar unos 3000 L de agua con lo cual el caudal aproximado es de unos 9 m³/hora (se podría hacer la prueba in-situ pero durante el montaje y mediante observación se vio que aproximadamente eran las cifras correctas).
- El **precio del agua** en el polígono industrial de Montfullà es de 0,7892 €/m³ de agua de red (tramo único, industrial). Si consideramos los **3000 L de agua de red** costarían **2,3676 €**.
- El **precio de la electricidad**: consideramos un promedio de 0,21 €/kWh (como único sin entrar en discriminaciones horarias, etc.). Los 20 minutos en funcionamiento **para impulsar estos 3000L** costarían 0,0525 € ($0,21 \text{ €/kWh} * 1 \text{ h} / 60 \text{ min} * 20 \text{ min} * 0,75 \text{ kW} = 0,0525 \text{ €}$). **Si tenemos dos bombas son 0,105€**.
- Haciendo el ejercicio con la carga hidráulica máxima que pueden depurar los pilotos y sin pérdidas por evapotranspiración, implica que se depurarían unos 9 m³ y se impulsarían por tanto 9 m³ de agua reciclada hacia la maquinaria de vehículos.
 - o Coste agua de 9 m³ agua de red = **7,1028 €**
 - o Coste de la electricidad para impulsarla = $0,21 \text{ €/kWh} * 1 \text{ h} / 60 \text{ min} * 60 \text{ min} * 0,75 \text{ kW} = 0,1575 \text{ €} * 2 \text{ bombeos} = \mathbf{0,315 \text{ €}}$

(Ambos con impuestos incluidos)

Si se quieren tener en cuenta todas las bombas del sistema de plantas piloto (en ningún caso una planta real requeriría todos estos elementos), se puede hacer el siguiente ejercicio:

- Bomba SACI HT 65-2 C-502 (bomba del decantador de 10000L): 4,8 m³/hora aproximadamente, con una potencia absorbida de 4,1 kW. Impulsar 9 m³ costaría aprox. 1,61 €
- Bomba ESPA AQUARIA 07N (bomba sumergida depósito IP): potencia absorbida 1,30 kW. Esta bomba en la CH máxima ha impulsado 478,4L/2 horas (o lo que es lo mismo, 3827,2L en 16 horas de funcionamiento; si se consideran 8 aplicaciones, sería la mitad que si se hace en 4 aplicaciones). Esto tiene un coste aproximado de 4,368€ (o la mitad si se hacen la mitad de aplicaciones)

Coste total energía de todas las bombas del sistema de plantas piloto: 1,61€ bombeo principal + 4,368 € bombeo goteros IP + 0,315€ bombeo reciclaje = **6,293€**



3.2. Infraestructuras verdes y servicios ecosistémicos de los sistemas de depuración empleados

Tal y como ya se describieron en el informe de la acción A7 del proyecto MinAqua, las tecnologías naturales (también conocidas como extensivas, blandas, de bajo coste energético, no convencionales o sostenibles) se definen en función de la presencia de componentes naturales o sistemas completos (ecosistemas) en el tratamiento de aguas residuales. Todos estos sistemas se construyen a propósito para la depuración, ya que para estas actividades el uso de sistemas naturales suele estar prohibido. Existe la posibilidad de emplear sólo un componente natural (o principalmente un componente, por ejemplo suelo), o sistemas más complejos con varios componentes o ecosistemas completos.

Los procesos que intervienen en las tecnologías naturales para degradar o eliminar los contaminantes del agua residual son en general similares a los que se desarrollan en los sistemas convencionales (degradación biológica aerobia o anaeróbica, reacciones de oxidación y reducción, sedimentación, filtración,...) a los que se unen otros procesos que se dan naturalmente en los ecosistemas (fotosíntesis, asimilación por microorganismos o plantas,...). Nos encontramos pues delante de técnicas de depuración que ofrecen una serie de **servicios ecosistémicos** tanto de forma directa como indirecta: además de solucionar el problema del tratamiento de las aguas residuales, se integran en el paisaje y adicionalmente pueden fomentar la biodiversidad propia de los ecosistemas húmedos y la reutilización de aguas residuales. Con el proyecto MinAqua se ha demostrado la eficiencia de depuración y la posibilidad del reciclaje del agua residual del lavado, con lo cual la implementación de este tipo de 'recuperadores' de agua en los lavados no sólo serviría para esta función sino que se recuperarían otros servicios que el crecimiento y desarrollo urbano se ha ido comiendo (Comisión Europea, 2009).

De forma semejante, y en concreto los humedales construidos y sistema de infiltración – percolación empleados en el proyecto MinAqua, son **infraestructuras verdes** que cómo tales tienen beneficios asociados tanto a las zonas rurales como urbanas, y el objetivo de mejorar la capacidad de la naturaleza para **facilitar bienes y servicios ecosistémicos** múltiples y valiosos, tales como agua limpios. Entre los beneficios destacamos algunos que menciona la propia Comisión Europea (2014) con el objetivo de construir una infraestructura verde para Europa:

- Beneficios medioambientales: suministro de agua limpia; eliminación de contaminantes del agua; retención de las aguas pluviales;



- Beneficios sociales: ciudades más atractivas y más verdes; soluciones de energía más integradas (mínimo o nulo gasto energético, energía natural: sol y ocasionalmente viento); mayor valor de la propiedad y distinción local;
- Beneficios con la mitigación del cambio climático y la adaptación a este: almacenamiento y retención del carbono; mitigación de los efectos urbanos de isla térmica;
- Beneficios para la biodiversidad: mejora de los hábitats para la vida silvestre (o en algunos casos de humedales construidos se ha recuperado fauna y se ha creado nuevo hábitat); permeabilidad del paisaje.



4. Conclusiones

La información de contexto del sector junto con los estudio de escalabilidad realizado nos permite concluir que las tecnologías son transferibles a todo el sector de lavado del automóvil en Europa (ya que si bien puede haber diferencias entre países, el mercado es muy parecido en toda la región, y se utilizan los mismos canales y tipos de lavado). Creemos que la **transferibilidad** de la tecnología puede ser directa en este sector, teniendo en cuenta las recomendaciones aportadas por este informe y los resultados obtenidos para cada tecnología, mientras que la **escalabilidad** será caso por caso. En cada caso, según demanda (número previsto de lavados al día), legislación vigente y espacio disponible, deberá estudiarse la viabilidad o no de instalar una tecnología natural. Tanto los datos promedio de consumo como la superficie necesaria (*i.e.* m² por m³ de agua tratada) para cada una de las tecnologías naturales estudiadas son datos válidos para cualquier localidad (con condiciones climáticas similares, especialmente la temperatura). Los resultados permiten concluir que para este tipo de agua residual se requiere 1,8 m² de ZHFSSH por coche, y un poco menos, 0,7 m²/coche si se utiliza la ZHFSSV o la IP.

Con el ejercicio a modo de ejemplo realizado vemos que, al menos para las instalaciones demostrativas del proyecto, es viable económicamente el hecho de reciclar agua en el sector, no sólo porqué resulte en un costo menor debido a la reducción del agua de red utilizada, sino porqué supone que esta agua estará disponible para demandas más exigentes o se dejará de extraer del ecosistema (y por lo tanto hay una reducción en la presión ejercida). El hecho que los tratamientos naturales utilicen como fuente principal de energía el sol, supone una reducción importante en costes energéticos. Es importante remarcar que la disponibilidad de superficie es la limitación más importante. Con este proyecto abrimos una posible línea de trabajo con proveedores de tecnología para el lavado, ya que los equipos hasta el momento han sido compactos, con el uso de más energía y productos químicos, y no se había estudiado hasta el momento la posibilidad de utilizar sistemas más extensivos para el sector del lavado de automóviles.

Concluimos también que son sistemas con un importante valor añadido como infraestructuras verdes (será importante un buen diseño y construcción acorde con el entorno) que ofrecen servicios ecosistémicos importantes.



5. Bibliografía

ACEA, 2014. European Automobile Manufacturers' Association. <http://www.acea.be/>

Comisión Europea (2009). *Bienes y servicios ecosistémicos*. [Artículo en línea] [Última consulta: septiembre 2016].

<http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Eco-systems%20goods%20and%20Services/Ecosystem_ES.pdf >

Comisión Europea (2014). *Construir una infraestructura verde para Europa*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de la Unión Europea, 24 pp. [Artículo en línea] [Última revisión: septiembre 2016]

<<http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/GI-Brochure-210x210-ES-web.pdf>>

Fundación Ecología y Desarrollo. *Guía de bolsillo de Buenas Prácticas. Uso eficiente del agua en la ciudad. SECTOR auto-lavados*. [Artículo en línea] [Última consulta: septiembre 2016] <http://ecodes.org/docs/Guias_bolsillo/Autolavados.pdf >

Global Industry Analysts Inc. (2016). *Car wash services – A global strategic business report*. [Abstract disponible en línea] [Última consulta: septiembre 2016] <http://www.strategyr.com/Car_Washing_Services_Market_Report.asp>

Huybrechts D., De Baere P., Van Espen L., Wellens B., y Dijkmans R. (2002). *Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor car- en truckwash. Eindrapport*. Centro de estudios VITO. [Disponible en línea] [Última consulta: 05/07/2016] <<https://emis.vito.be/nl/bbt-studie-car-en-truckwash>>

Janik A. i Kupiec H. (2007). *Trends in Modern Car Washing*. Polish Journal of environmental studies, 16 (6): 927-931.

Nordic Ecolabelling (2013). *Nordic Ecolabelling of Vehicle Wash installations*. Version 3.0 • 23 October 2013 – 31 October 2018. [Disponible en línea] [Última consulta: julio 2016] <<http://www.svanen.se/en/Criteria/Nordic-Ecolabel-criteria/Criteria/?productGroupID=41>>

Pascual A. (2005). *La desinfecció de l'aigua de consum amb hipoclorit sòdic. Recomanacions*. Departament de Salut, Generalitat de Catalunya. [Disponible en línea] [Última consulta: septiembre 2016]



<http://salutweb.gencat.cat/web/.content/home/ambits_tematicos/per_perfiles/empreses_i_establiments/empreses_gestores_de_subministrament_daigua/la_desinfeccio_de_laigua_de_consum_amb_hipoclorit_sodic/documents/arxius/desinfeccio_aigua_consum_hipoclorit.pdf>

Research and Markets (2010). *Exploring the European carwash market: Customer behaviour, Sector Value and Channel Success*. [Resumen disponible en línea] [Última consulta: septiembre 2016].

<http://www.researchandmarkets.com/reports/1882065/car_washing_services_global_strategic_business.pdf>

Verdict.retail (2015). *The European Car Wash market. Verdict Trend Report*. Sample (recibido por mail de la misma consultoría).



Anexo I. Escalado instalación Montfullà

Siguiendo la propuesta de Ordenanza del proyecto Life Minaqua en el que se recomienda reciclar un caudal mínimo de 60% y máximo de 90 %, se han realizado los cálculos de escalado para reciclar estos dos % en la estación de lavado de Montfullà.

Escalado Montfullà			
Escenarios	Caudal (m ³) para reciclado	Equivalente núm. vehículos	Tecnología Area (m ²)
Porcentaje de caudal reciclado 60 %	6 m ³ /día	24 coches (250 L/vehículo)	ZHFSSH ≈ 40 m ²
		13 industriales (450L/vehículo)	ZHFSSV ≈ 16 m ² IP ≈ 16 m ²
Porcentaje de caudal reciclado 90 %	9 m ³ /día	36 coches (250 L/vehículo)	ZHFSSH ≈ 65 m ²
		20 industriales (450L/vehículo)	ZHFSSV ≈ 25 m ² IP ≈ 25 m ²



Anexo II. Escalado instalación Miramón

Siguiendo la propuesta de Ordenanza del proyecto Life Minaqua en el que se recomienda reciclar un caudal mínimo de 60% y máximo de 90 %, se han realizado los cálculos de escalado para reciclar estos dos % en la estación de lavado de Miramón.

Escalado Miramón			
Escenarios	Caudal (m ³) para reciclado	Equivalente núm. Vehículos	Tecnología Area (m ²)
Porcentaje de caudal reciclado 60 %	15 m ³ /día	Túnel: 50 coches (300 L/coche)	ZHFSSH ≈ 90 m ² ZHFSSV ≈ 35 m ²
		Box lavado: 250 coches (60L/coche)	IP ≈ 35 m ²
Porcentaje de caudal reciclado 90 %	22,5 m ³ /día	Túnel: 75 coches (300 L/coche)	ZHFSSH ≈ 135 m ² ZHFSSV ≈ 50 m ²
		Box lavado: 375 coches (60L/coche)	IP ≈ 50 m ²