

GUARDIAN: Reutilización de Agua en la defensa contra Incendios Forestales

Javier Anguiano Aranzubia

Hidraqua

Jose Morales

Ayuntamiento de Riba-roja de Túria

Ferrán Dalmau Rovira

Medi XXI

Lydia Puchol Rodríguez

Medi XXI

Francesc Hernández Sancho

Universidad de Valencia

Carlos Echevarria Diez-Canedo

Cetaqua

RESUMEN

Los incendios forestales en el denominado interfaz urbano-forestal (Wildland Urban Interface, WUI) se han convertido en un riesgo creciente para estas zonas, como han mostrado recientemente, entre otros, los acontecimientos con un elevado número víctimas en 2018 en Grecia y California, o en 2017 en Portugal y España (Galicia).

La aplicación de tecnologías y estrategias innovadoras aplicadas con éxito en los últimos años, y basadas en el aumento de la disponibilidad de agua estructural en cortafuegos verdes, y los riegos de prevención/supresión del fuego, enfrentan el problema de la disponibilidad de los necesarios recursos hídricos. Esta barrera es especialmente significativa en las zonas en las que el estrés hídrico asociado al cambio climático aumenta simultáneamente el riesgo de incendios.

El proyecto GUARDIAN, desarrollado en los municipios valencianos de Riba-roja y Paterna, y apoyado por la Unión Europea a través del Programa de Acciones Urbanas Innovadoras, busca resolver este reto a través del uso del agua regenerada integrada en la implementación de las mencionadas soluciones. El proyecto GUARDIAN aplicará además soluciones avanzadas de tratamiento que permitan aprovechar para este fin caudales con cargas contaminantes asociadas al uso de pesticidas en la agricultura, cumpliendo con criterios de eficiencia y sostenibilidad.

1. ANTECEDENTES

El año 2018 nos dejó un triste recordatorio del poder destructivo que pueden adquirir los incendios forestales cuando alcanzan zonas pobladas. En Grecia (región de Ática), un

incendio relativamente reducido en extensión y duración, en julio de 2018, se convirtió en el más mortífero que afecta al país desde 2007. Con 76 fallecidos y 187 heridos (164 adultos y 23 niños) y más de 700 personas evacuadas, el incendio comenzó con varios fuegos en una zona forestal a 50 kilómetros al suroeste de Atenas.

En el otoño del mismo año, los incendios forestales en California (Estados Unidos) fueron considerados los más destructivos jamás registrados en este estado. Durante 2018, un total de 7.579 incendios quemaron un área de 6.749,57 km², la mayor área quemada registrada en una temporada de incendios en California, según el Departamento Forestal y de Incendios de California y el Centro Nacional de Incendios, a partir del 11 de noviembre. Los incendios causaron más de US\$ 3.500 millones (USD 2018) en daños. El recuento, todavía no definitivo, de víctimas mortales fue de 94, si bien se han reportado 1011 desaparecidos. En un único incendio (Camp, noviembre 2018), el número de muertes ascendió a 86.

1.1. Impacto de los incendios forestales en las áreas urbanizadas

Las áreas urbanas en Europa en contacto con o cerca de áreas boscosas en la llamada Interfaz Urbano-Forestal (WUI, por sus siglas en inglés) enfrentan cada vez más incendios forestales más frecuentes e intensos, que afectan a la población, las infraestructuras, las propiedades, los servicios y los negocios.

WUI es un término simple, pero sin ambigüedades, para una realidad compleja, particularmente en escenarios donde las llamas, el humo y los frentes de fuego de un incendio forestal que se aproxima se apoderan de, cuándo y dónde está la gente. Algunas de las características que los hacen particularmente peligrosos son:

- Alta probabilidad de incendios forestales que pueden llegar a la interfaz desde el exterior, pero también pueden encenderse en el área interna de la WUI (igniciones no deseadas relacionadas con el hombre y causadas por barbacoas, quema de restos de vegetación, etc.).
- Generación de humos tóxicos.
- Dificultades para acceder a la zona y las casas individuales.
- Posibles escenarios de emergencias múltiples y efectos dominó (explosiones de gas, gases tóxicos, intoxicación de personas y bomberos, accidentes callejeros durante la evacuación concomitante de residentes y la llegada de equipos de lucha contra incendios).
- Presencia de residentes no autónomos y turistas sin conocimiento y preparación para un evento de incendio forestal (debe informarse en el plan de emergencia local).
- El abrumador aparato de lucha contra incendios, que muy a menudo no puede defender simultáneamente todas las casas unidas por el frente de fuego; la posible sobrecarga del aparato de extinción de incendios puede requerir una clasificación anticipada basada en la defensa real de cada vivienda que debe informarse en el plan de emergencia local.
- El refugio en el lugar o la evacuación de la población son diferentes opciones que deben prepararse con anticipación y deben ser conocidas por los bomberos.

- Probable imposibilidad de utilizar las técnicas de "fuego contra incendios forestales" (contrafuerzas, incendios prescritos y tácticos).
- Limitaciones en el tamaño de los camiones de bomberos y en el uso de aviones grandes para el suministro aéreo de agua.
- Dificultades para coordinar las cuadrillas que a menudo pertenecen a diferentes instituciones (Servicio Forestal, Bomberos, voluntarios de Protección Civil, etc.) también porque no se pueden aplicar directamente las tácticas de fuego de estructura pura ni las tácticas de fuego de áreas silvestres puras (los WUI requieren capacitación especial).

Los estudios de los eventos de incendio muestran que el afecto de las áreas pobladas se produce en la zona de contacto de la llama, pero también en una zona de influencia más grande, en la que el humo y las marcas de fuego están presentes de manera profusa y activa.

1.2. El Parque Natural del Turia en los municipios de Riba-roja y Paterna

Las áreas urbanas de Riba-roja y Paterna, comparten la zona silvestre protegida "La Vallesa", que forma parte del Parque Natural "Parque Natural del Turia", ubicado dentro de un entorno altamente urbanizado. La interfaz urbano-forestal entre este parque y las ciudades antes mencionadas está sujeta al riesgo creciente que representan los incendios forestales, impulsados por los efectos del cambio climático. Este peligro se maximiza por su alto nivel de antropización (incorporación dentro del área urbana) y cierta degradación (abandono de la agricultura, manejo forestal insuficiente). En el período 2000-2016, Riba-roja sufrió 40 incendios forestales, mientras que Paterna registró 19. Estos incendios son cada vez más frecuentes en los últimos años, y debido al rápido desarrollo urbano, potencialmente más destructivo.

Debe tenerse en cuenta que el impacto potencial de los incendios en las áreas urbanas adyacentes de Riba-roja y Paterna no se limita al daño directo (pérdida de vida y daños materiales), sino que se extiende a infraestructuras de apoyo (por ejemplo, líneas eléctricas existentes), calidad del aire, erosión del suelo y tiene un efecto general negativo en la economía local (por ejemplo, el turismo).

Como desafío adicional, los efectos del cambio climático también afectarán la disponibilidad de los recursos hidráulicos que podrían requerirse para mitigar los riesgos de incendio; las predicciones para la región mediterránea muestra una disminución en la precipitación anual junto con una creciente demanda de agua para la agricultura. Este rendimiento se maximiza por la creciente demanda de agua de una de las zonas más densamente pobladas de España.

En el municipio de Riba-roja, 12 urbanizaciones y varios núcleos diseminados expanden el área urbana. La ciudad de Paterna también refleja una distribución similar, con 6 diferentes núcleos poblacionales. La expansión de ambas ciudades a las áreas circundantes dentro del actual Parque Natural de Turia fue una constante del desarrollo urbano, durante el siglo XX, creando áreas residenciales incrustadas en los bosques existentes. La disminución simultánea de la agricultura dentro del área ha contribuido a

su configuración actual.

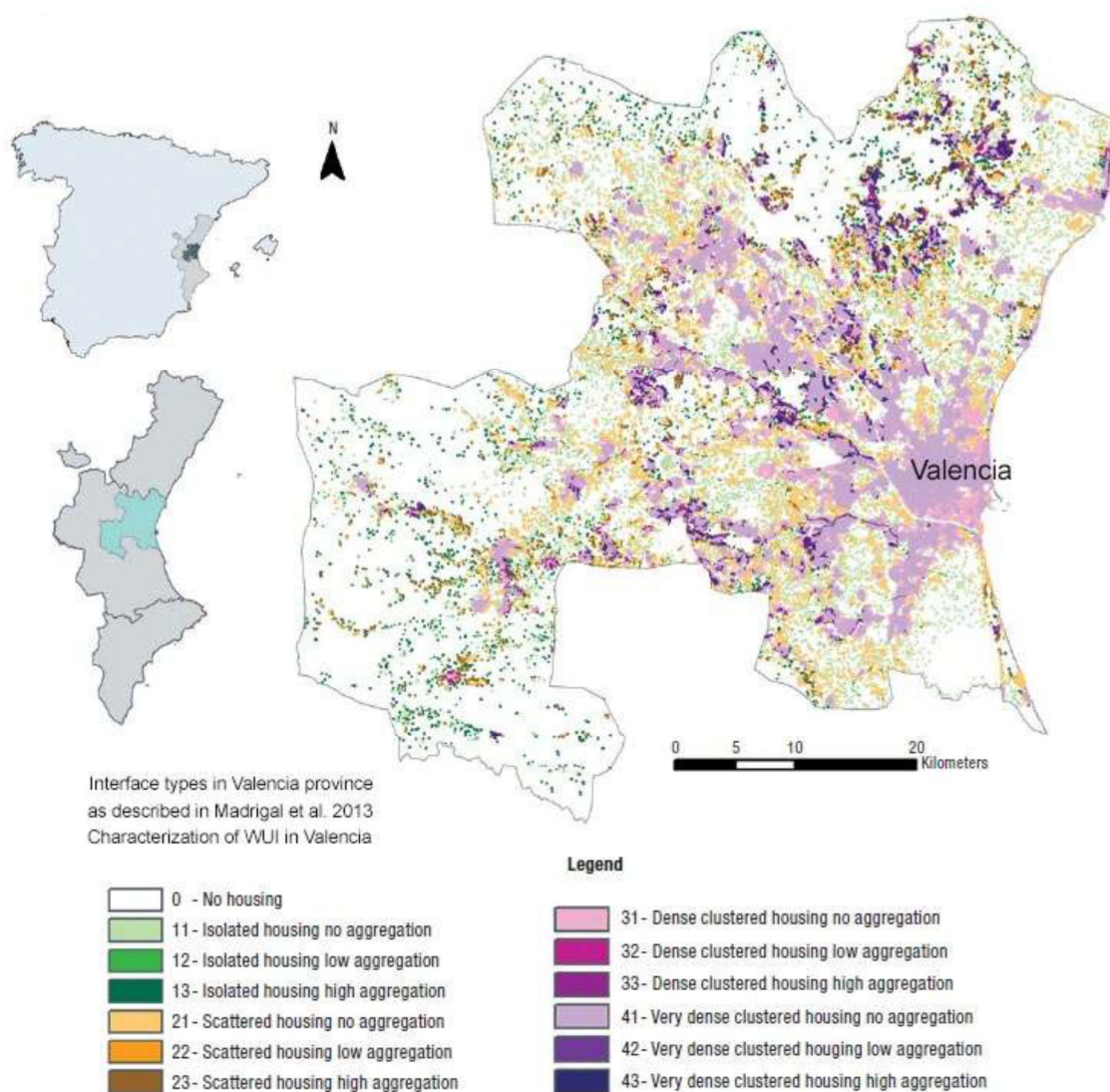


Figura 1. Caracterización del Interfaz Urbano-Forestal en la provincia de Valencia.

Fuente: J. Madrigal Olmo et al.

En el entorno más próximo a la ciudad de Valencia, una creciente aglomeración de ciudades más pequeñas y asentamientos de viviendas se está dispersando y entremezclando con las tierras boscosas y los terrenos mixtos de bosques y bosques. Dicha fricción crea una exposición potencial de las casas, la población y las propiedades al inicio, la consolidación y la propagación de incendios forestales con tremendas consecuencias no deseadas, como se observa repetidamente en incendios reales en las cercanías de la capital. Hoy en día, estos municipios están abrumados por la situación, con una población que se multiplica notablemente en verano, precisamente en la temporada alta de incendios, rodeada de bosques con un manejo decreciente y varias tierras agrícolas abandonadas y una precaria disponibilidad de agua. Enfrentar la autoprotección es un desafío para los municipios con capacidad limitada para el desarrollo de infraestructura y el acceso al agua con fines de prevención y protección. Si bien existe una reglamentación bastante insuficiente sobre la prevención de incendios y está en vigencia, solo algunas de las comunidades que se encuentran en esas áreas son

conscientes de los peligros y la necesidad de la autoprotección.

1.3. Los retos del cambio climático

1.3.1. Cambio climático y riesgo de incendios

Los nuevos factores se están alineando de manera lenta pero constante hacia escenarios difíciles de temporadas de incendios más prolongadas, episodios de sequías más profundos y más prolongados y un clima más extremo con tormentas y vientos fuertes, lo que representa un desafío, y con frecuencia colapsa, a los bomberos y otros cuerpos de protección. Parece claro que estamos enfrentando nuevos desafíos, eventos de incendio de nuevas dimensiones, y parece que esto es solo el comienzo. Lo que hemos presenciado en Estados Unidos y Canadá en los últimos años parece estar ocurriendo progresivamente y de manera constante en Europa. Portugal, España, Francia, Croacia, Italia y Grecia sufrieron un gran número de incendios, algunos de ellos se convirtieron en grandes incendios que amenazaron a poblaciones e infraestructuras, entre ellos varias instalaciones turísticas.

La Asociación Europea para la Adaptación al Clima ha considerado que el llamado Incendio de Interfaz Urbano-Forestal es uno de los principales impactos en las Áreas Urbanas de los miembros de la asociación (Agenda Urbana de la UE sobre Adaptación al Clima, 8ª Reunión de la Comunidad de Usuarios en condiciones seguras y seguras). y Sociedades Resilientes). Según el IPCC (Impactos, adaptación y vulnerabilidad del cambio climático 2014 p.19), el aumento del riesgo de incendios forestales tiene el mayor nivel de confianza en futuros escenarios de cambio climático. La Agencia Europea de Medio Ambiente ha declarado que *“En un clima más cálido, el clima de incendios más severos y, como consecuencia, una expansión de la zona propensa a incendios y temporadas de incendios más prolongadas se proyectan en toda Europa. El impacto de los eventos de incendio es particularmente fuerte en el sur de Europa”* (European Environment Agency, Key Messages for Forest Fires Indicator Assessment)

1.3.2. Cambio climático y recursos hídricos

Diferentes estrategias de prevención o mitigación de incendios pasan por la aplicación de riegos preventivos o de supresión, como detallaremos más adelante. Sin embargo, esta aproximación se enfrenta a un importante obstáculo relacionado con la disponibilidad de recursos hídricos.

La escasez de agua, lo que significa que existe un desequilibrio entre la demanda de agua disponible y la demanda existente, afecta actualmente a muchos países europeos. Al menos el 11% de la población y el 17% de los territorios europeos se ven afectados por la escasez de agua (Comisión Europea. 2010. Agricultura en la UE, Información estadística y económica 2009, Dirección General de Agricultura y Desarrollo Rural). El número de personas que viven en las cuencas hidrográficas caracterizadas por la escasez de agua aumentará, especialmente en la Península Ibérica, Italia y en partes relativamente grandes de Europa Central (Agencia Europea de Medio Ambiente del EEE 2010. El Medio Ambiente Europeo: estado y perspectivas 2010, Copenhague, Dinamarca: Adaptación al cambio climático).

El documento de trabajo de CEPS “Impactos futuros del cambio climático en Europa” (No. 324 / febrero de 2010) afirma que el Mediterráneo enfrentará los problemas de escasez de agua más que cualquier otra región de Europa. El cambio climático puede llevar a una disminución estimada de la disponibilidad de agua, que será mayor en el Mediterráneo y el sur de Europa (Comisión Europea, 2009a; MICE, 2005). La disponibilidad de agua puede disminuir en un 20-30% en un escenario de +2°C y en un 40-50% en un escenario de +4°C. Los flujos de agua en verano pueden reducirse hasta en un 80% y la escorrentía media anual de agua disminuirá en Europa Central y del Este y en el Mediterráneo en un 0-23% hasta los años 2020 y en un 6-36% hasta los 2070 (IPCC, 2007b). Este pronóstico coincide con el de la Agencia Europea de Medio Ambiente; en particular, para un escenario de altas emisiones (RCP8.5), los modelos (promedio conjunto) proyectan un aumento estadísticamente significativo en la precipitación anual en grandes partes del centro y norte de Europa (de hasta aproximadamente el 30%) y una disminución en el sur de Europa (de hasta el 40%) de 1971–2000 a 2071–2100.

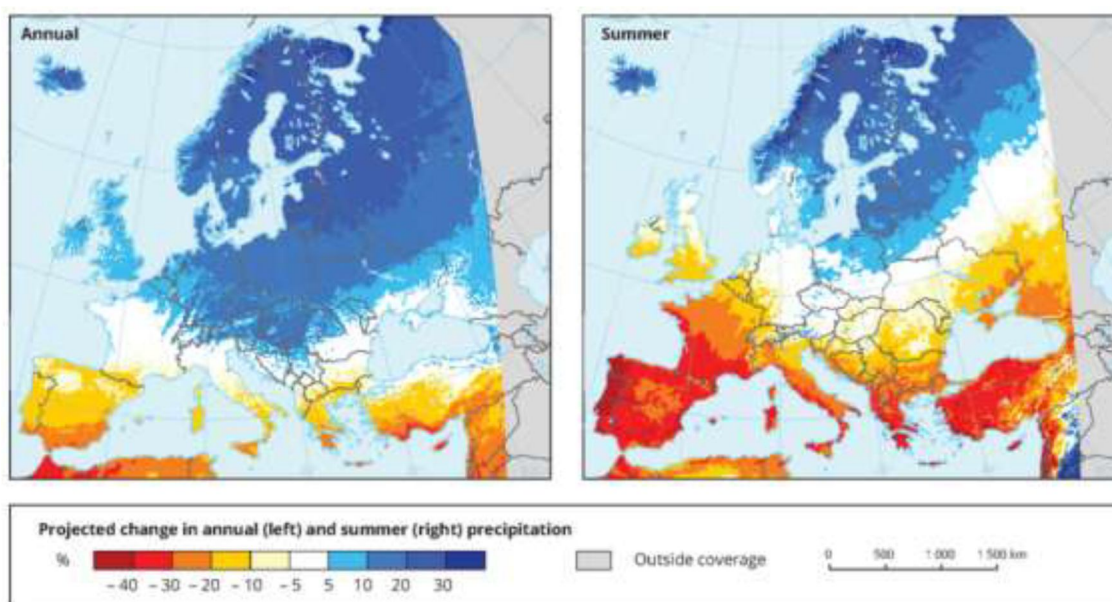


Figura 2. Cambio proyectado en las precipitaciones anuales y estivales. Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente, evaluación de indicadores: precipitación media.

Así vemos que, como es lógico, las estaciones secas extremas crean las condiciones para un alto riesgo de incendio (alta temperatura, baja humedad del suelo) pero, al mismo tiempo, reducen la disponibilidad de los recursos hídricos necesarios para la protección contra incendios en la Interfaz Silvestre-Urbana. Los modelos muestran que esta situación será cada vez más frecuente en el sur de Europa.

La región de Valencia está ubicada en la cuenca del Mediterráneo occidental (costa este de la Península Ibérica, España) y comprende un área que se extiende entre 38 y 40 ° N (24.000 km²). Si bien la escasez de agua es una constante histórica de esta región, los episodios recientes de sequía muestran un patrón que puede vincularse con los efectos del cambio climático. La costa mediterránea y la parte sureste del país son las zonas más afectadas por la escasez de agua y las sequías con los consiguientes impactos

socioeconómicos y ambientales.

De acuerdo con el Observatorio Europeo de la Sequía (EDO) del JRC, el análisis de los indicadores de lluvia a largo plazo (SPI-6 y SPI-9), disponibles en EDO, destaca un déficit a largo plazo en el sur de España con impactos potenciales en los embalses y ríos. Las zonas más afectadas son las comarcas de Valencia y Murcia, y la provincia de Almería. Por ejemplo, en 2014, el EDO del JRC publicó que “Casi todo el territorio de las provincias de Valencia, Castellón y Alicante experimentaron seis meses consecutivos con condiciones de extrema sequedad desde noviembre de 2013 hasta abril de 2014”.

Como consecuencia de estos déficits de precipitación, el contenido de agua del suelo se redujo drásticamente. Los datos del modelo de humedad del suelo proporcionan una clara evidencia de las áreas que sufren debido a la escasez de lluvias, lo que confirma las condiciones excepcionales que se han producido desde octubre de 2013, con valores negativos persistentes en las regiones de Valencia y Murcia, y en Almería.

Para 2030, una reducción en los recursos hídricos entre 12% y 15% en la cuenca de Segura y Júcar, con graves consecuencias en el suelo y deterioro de las masas forestales, la inestabilidad de las laderas en incendios forestales y más. Los cultivos y su demanda de agua. Dentro de la Comunidad Valenciana, Ribera-roja y Paterna están ubicadas dentro de las áreas con un balance de agua negativo entre la disponibilidad y la demanda.

2. ZONIFICACIÓN DEL INTERFAZ URBANO-FORESTAL

En los últimos años, y particularmente en el marco del proyecto europeo WUIWATCH, se han considerado tres escalas de trabajo para la evaluación del riesgo de incendios forestales y la planificación de la prevención de incendios en la interfaz urbano-forestal: la macroescala o escala del paisaje, la mesoescala, correspondiente a las dimensiones de los asentamientos, y la microescala, en referencia a la escala detallada de la casa y la parcela que rodea el edificio.

2.1.1. La mesoescala y la zona de transición

De los tres, la mesoescala se ha identificado como la escala clave de trabajo para la identificación de riesgos y el diseño de espacios defendibles en los que los factores relevantes que gobiernan el comportamiento esperado del fuego, como la carga de combustible y la continuidad, y el contenido de humedad del combustible vivo entre otros, se transforman para obtener ambientes de riesgo controlado y áreas defendibles extendidas. Se han considerado tres áreas en la mesoescala: la mesoescala externa (también tratada como área de transición), el perímetro y el primer anillo de casas y la mesoescala interna.

De acuerdo con las lecciones aprendidas, varios enfoques para la adaptación del área de transición incluyen la transformación y el mantenimiento de la estructura y la humedad del suelo, la selección y el tratamiento de las plantas, la aplicación del pastoreo, la prescripción de quemados controlados y la programación del riego preventivo. En el perímetro, algunos enfoques y buenas prácticas están subrayados, incluido el diseño de anillos de baja combustibilidad, la eliminación de setos inflamables y el diseño de sistemas de rociadores automáticos. En la mesoescala interna, se proporcionan algunas

indicaciones, según las observaciones en incendios reales, para reducir la actividad del fuego, como el tratamiento de lotes no desarrollados, la ruptura de la continuidad de los setos y el mantenimiento de otros materiales no vegetales que eventualmente se agregan a la carga de fuego.

3. EL PROYECTO UIA-GUARDIAN

Con los antecedentes descritos, el Proyecto GUARDIAN propone una estrategia de mitigación del riesgo de incendio que se pondrá a prueba en el área de la Vallesa, en el interfaz entre las zonas urbanas de Riba-roja y Paterna, y el Parque Natural del Turia. Gracias al apoyo del programa de Acciones Urbanas Innovadoras de la Unión Europea, se implementará una solución que enlaza los resultados de proyectos europeos previos en los ámbitos de la prevención de incendios, y de métodos avanzados de reutilización del agua.

El proyecto propone una estrategia combinada basada en el uso de agua reciclada para la prevención y protección contra incendios para proporcionar patrones de riego / remojo preventivos, de supresión y extinción programados automáticamente: GUARDIAN implementará la infraestructura hidráulica para suministrar agua reciclada a la Interfaz Urbano-Forestal de La Vallesa, y los elementos (torres de riego y aspersores) que conforman la barrera defensiva. La instalación, ubicada en el área de la línea de incendios, integrará las bujías con cañones de hidrante de alta presión que cubren el perímetro, en base al sistema WUI-PROTECT.

Además, se llevarán a cabo trabajos de suelo y vegetación (reducción de la densidad de los árboles, particularmente hundidos o debilitados, combustibles de escaleras, podas, espaciado de arbustos, reducción de restos de árboles y vegetación, etc.)

El uso de agua reciclada para proporcionar los recursos hídricos necesarios para infraestructuras de protección contra incendios, como la propuesta por GUARDIAN, no tiene precedentes conocidos, y mejora en gran medida su aplicabilidad. El agua reutilizada se ha aplicado en cierta medida en la lucha contra incendios convencional, y en realidad está regulada por la Ley española (RD 1620/2007). El proyecto también contribuirá a la sostenibilidad del humedal La Vallesa mediante su restauración y el reemplazo de caudales entrantes de baja calidad.

3.1. Estudios preliminares

Un conjunto de estudios preliminares y un estudio de campo establecerán las bases del análisis de riesgos y el diseño posterior de la solución. Primero, se llevará a cabo una caracterización detallada de la estructura de la vegetación mediante inspección de campo y mediante el análisis de los datos del LIDAR. Esto conducirá a la caracterización y mapeo de la carga de combustible forestal (kg / m²), la continuidad del combustible y la estructura vertical.

Los registros históricos de las estaciones meteorológicas cercanas se analizarán y se correlacionarán con los índices de riesgo de incendio correspondientes (como el FWI canadiense). Se incluirá la evolución esperada del clima, particularmente en la

descripción de los períodos de sequía, clima extremo (vientos) y episodios de alta temperatura y baja humedad. Finalmente, se realizará una vigilancia de la tierra para obtener un mapa de los elementos vulnerables existentes (casas, infraestructura crítica, negocios, servicios, etc.)



Figura 3. Esquema de la solución. En verde claro / oscuro, áreas propuestas para la transformación de la estructura de la vegetación . La infraestructura hidráulica aparece en azul y amarillo. Fuente: Elaboración propia

En el siguiente paso, de acuerdo con los registros históricos, los patrones meteorológicos y la evolución esperada de los escenarios climáticos de incendios forestales, su posible evolución y la intensidad y extensión de los efectos sobre los elementos vulnerables serán identificadas. Para lograr esto, se utilizarán modelos de evaluación y simulación de expertos para estimar la liberación de energía, la intensidad lineal de disparo, la emisión de energía radiativa, la velocidad de propagación y las rutas de propagación potenciales (propagación). La salida será complicada con la vulnerabilidad y la exposición (distancias) para obtener, mediante el uso de funciones de riesgo, la probabilidad de consecuencias no deseadas que, eventualmente, se reflejarán en un mapa de riesgo.

3.2. Mitigación del riesgo

La mayor parte de la mitigación del riesgo de incendio se centra principalmente, pero no únicamente, en los tratamientos en la estructura de la vegetación. El diseño de los tratamientos de vegetación es doble: para limitar y controlar la continuidad de la carga de combustible y, por otro lado, para proteger la estructura del suelo y la disponibilidad de agua. Esto significa, en primer lugar dimensionar la extensión y la intensidad de los

tratamientos en la tierra que rodea el asentamiento urbano (zona de transición), mediante el uso de un algoritmo específico basado en la liberación de calor radiante se esperaba. Los tratamientos propuestos buscarán proteger el suelo de la evapotranspiración intensa, asegurando suficiente cobertura de la cubierta, mientras que, al mismo tiempo, evitamos la continuidad del combustible. Además, la protección del suelo incluirá tratamientos del suelo (es decir, enmienda orgánica) y cobertura con vegetación protectora. Los tratamientos específicos en el perímetro de asentamiento se dimensionarán y diseñarán de manera que ofrezcan un entorno de intensidad de fuego controlado (por debajo de 3000 kW/m). Esto incluirá la reducción de combustible, pero también la movilidad para las operaciones de extinción de incendios. Finalmente, el diseño de los tratamientos se extenderá a los lotes internos, jardines y áreas verdes comunes .



Figura 4. WUIPROTECT® Wildfire Defence System instalado en el perímetro de una interfaz urbano-forestal. Fuente: Medi XXI GSA

3.3. Gestión del sistema

La gestión automatizada del sistema se basará en la implementación de índices personalizados para el monitoreo adicional del contenido de humedad de la vegetación viva, el contenido de humedad de la veta muerta fina y los componentes del comportamiento del fuego y los indicadores de liberación de energía (probabilidad de ignición, intensidad lineal, tasa de propagación), emisión de calor radiante etc.) Todos estos serán alimentados con datos de monitoreo y pronóstico según lo detallado, particularmente la condición de la atmósfera (temperatura, humedad relativa, precipitación), pronóstico del tiempo y condición de la vegetación viva. Los índices obtenidos apuntan a vectores particulares de control y distribución del agua, como el riego preventivo (según el índice de vegetación viva), el riego de supresión (según el índice de humedad del combustible muerto fino) y el riego de supresión (según los índices de comportamiento del fuego).

El monitoreo se realiza localmente y complementa las lecturas generales y el pronóstico de la atmósfera general (según lo proporcionan las fuentes oficiales, como la Agencia

Meteorológica Nacional AEMeT o los servicios meteorológicos regionales). El monitoreo incluye lecturas de sensores del suelo (temperatura del suelo y contenido de humedad, establecidos a 0, 10 y 20 cm de profundidad), condición de la vegetación (como se deduce del análisis colorimétrico de cámaras multiespectrales basadas en tierra e imágenes satelitales) y combustible muerto de tamaño medio (10HR) mediante el uso de sensores específicos. Junto con esto, la información de las estaciones meteorológicas automáticas locales (AWS) también se recopilará y transmitirá (registrador de datos a través de GSM) al centro de control (CCS) para ser procesada e incorporada en el cálculo de índices.



Figura 5. Perímetro defensivo. Muestra que el primer plano tiene vegetación intacta (tierra verde) dentro del rango de acción de los cañones WUIPROTECT®. Fuente: Medi XXI GSA - Proyecto WUIWatch.

El núcleo del carácter innovador de la solución propuesta se refiere al desarrollo e integración de un sistema de comando de control (CCS) y un conjunto de algoritmos que, en primer lugar, recopila datos de monitoreo y pronóstico, calcula índices actuales y futuros, aplica la decisión reglas de inferencia y, finalmente, entrega una programación de los diferentes modos de riego mencionados anteriormente. En particular, GUARDIAN CCS calculará, basándose en el pronóstico calculado del código de sequía (DC), la cantidad y distribución espacial del riego para compensar el déficit de humedad del suelo y corregir dicho DC, y lo entregará automáticamente. Además, en caso de alto o muy alto riesgo de incendio, o en caso de enfrentar un incendio que se aproxima, GUARDIAN CCS estimará, basándose en la evolución esperada de la humedad de combustible fino, la cantidad, el tiempo y la distribución espacial del riego de supresión, para reduzca la posibilidad de que se produzcan incendios puntuales y desarrollos de incendios, y distribúyalos automáticamente. Finalmente, GUARDIAN CCS mantendrá un registro de la disponibilidad de agua disponible para la supresión y, de acuerdo con el cálculo del comportamiento de incendio esperado y la liberación de energía, sugerirá automáticamente la producción de un volumen adicional de agua tratada para las operaciones de supresión de incendios, para ser almacenada en consecuencia.

3.4. Los microcontaminantes orgánicos como barrera a la reutilización

Durante las últimas décadas, los desarrollos en técnicas analíticas (principalmente a través de la cromatografía líquida (LC) junto con la espectrometría de masas (MS)) han permitido detectar compuestos orgánicos de origen antropogénico, cuya presencia era desconocida debido a sus concentraciones relativamente bajas ($\mu\text{g/L}$ - ng/L) (Omil et al. 2010). Estos compuestos se conocen generalmente como microcontaminantes orgánicos (OMP, por sus siglas en inglés), contaminantes de interés emergente (CEC), o trazar los contaminantes orgánicos (TrOCs), y sus efectos sobre el medio ambiente y la salud humana son inciertos. Éste es, precisamente, el caso de la EDAR Camp del Turia II, de la que se pretende aprovechar el caudal tratado como recurso para el sistema de prevención y mitigación de incendios anteriormente descrito. Concretamente, el OMP de mayor relevancia en dicha EDAR es el Clorpirifós, un pesticida organofosforado usado ampliamente en viviendas y en agricultura.

La reutilización del agua representa una alternativa sostenible al uso de los recursos hídricos convencionales o la desalinización del agua de mar, y durante las últimas décadas ha sido muy considerada en los enfoques de economía circular. Sin embargo, la presencia de microcontaminantes orgánicos en los efluentes de WWTP y WRP ha provocado una preocupación global por el impacto de estos OMP en los diferentes usos.

La presencia de OMP en los esquemas de reutilización directa e indirecta representa un riesgo incierto para la salud humana cuando la población puede estar en contacto o consumir directa o indirectamente esta agua. En la agricultura, el riego también podría representar un riesgo cuando estos compuestos pueden ser absorbidos por el suelo y los cultivos. Por otro lado, el uso de agua recuperada para fines ambientales (como los sistemas de control de incendios y el mantenimiento del caudal del río) puede representar un riesgo para el suelo, el medio ambiente acuático, las plantas y los animales.

3.5. Experiencia previa: resultados de LIFE Aware

De 2013 a 2016, CETAQUA, Centro de Tecnología del Agua, coordinó el proyecto LIFE AWARE. El total presupuesto fue de 2,6 M €, cofinanciado por LIFE + Programa y Aigües de Barcelona (España) y LNEC (Portugal) participaron como socios.

El proyecto AWARE evaluó un innovador esquema de recuperación de agua híbrida para la eliminación de OMP, que se comparó con los sistemas más modernos. Para llevar a cabo esta comparación, durante 18 meses se operaron dos prototipos en la Estación Regeneradora (WRP) de El Baix Llobregat. Los prototipos consistieron en lo siguiente:

- Prototipo 1: biorreactor de membrana con dosificación de carbón activado en polvo (PAC) agotado
- Prototipo 2: nanofiltración capilar con dosificación de carbón activado en polvo virgen (PAC)

La figura 2 muestra el esquema de los prototipos operados. Como puede verse, la PAC dosificada en el tanque de contacto del prototipo 2 se filtró a través de un NF capilar y la corriente rechazada, que contenía PAC concentrada, se recirculó a los tanques biológicos del prototipo 1.

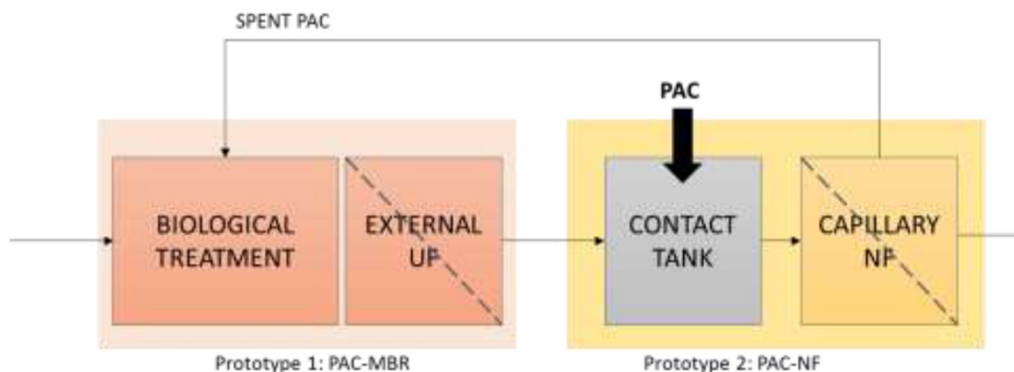


Figura 6. Esquema de los prototipos operados en el proyecto LIFE aWARE

Por otro lado, el WRP básico del Baix Llobregat, se compone por el CAS seguido de coagulación-floculación, sedimentación laminar, microfiltración y desinfección (UV). Los usos básicos de recuperación fueron urbanos (riego, limpieza de calles), agrícolas y ambientales.

La eliminación de recalcitrante OMP (como Carbamazepina y Diurón), la eliminación de OMPs biodegradables (tales como ibuprofeno, Acetaminofeno, Sulfametoxazol , y Codeína), diferencia de coste con respecto a WRP básica y huella ambiental se evaluaron para diferentes esquemas en la Tabla 1 .

Tabla 1 Eficiencias de eliminación, diferencia de costos y huella ambiental para diferentes esquemas de tratamiento. Fuente: Proyecto LIFE aWARE

Esquema	% De remoción recalcitrante OMP	% De eliminación de OMP biodegradable	Diferencia de costo con el WRP básico	Diferencia de huella con WRP básico
WRP básico	12	60	-	-
MBR	15	70	+ 30%	-50%
WRP básico renovado con O ₃	80	95	+ 19%	+ 15%
PAC-MBR (25 mg / L PAC virgen)	60	75	+ 60%	-50%

Como se puede observar, las bajas remociones de OMP recalcitrante se obtienen en WRP básico (12%). Los biorreactores de membrana, debido a su mayor SRT y HRT mejoran hasta un 15% la eliminación de OMP recalcitrante con una mejora del costo asociado de un 30%. Al renovar el WRP básico con ozono, es posible lograr un 80% de eliminación de OMP recalcitrante con un + 19% de costo y una mejora de + 15% de huella, mientras que al usar un sistema híbrido (PAC-MBR) es posible lograr un 60% de eliminación de OMP recalcitrante con un + 60% de costo y una reducción del 50% de la huella .

3.6. Aplicación al proyecto GUARDIAN

Se requiere eliminar varios OMP recalcitrantes de la EDAR del Camp de Turia II (Riba-roja, España), especialmente pesticidas organofosforados como Clorpirifos. Considerando la reutilización potencial de esta agua en sistemas de control de incendios y las propiedades de sorción de este pesticida objetivo, el uso de PAC-MBR presenta importantes ventajas en términos de calidad de regeneración de agua, eficiencia de eliminación de OMP y la huella asociado. Sin embargo, el costo asociado y la huella ambiental de estos sistemas son elevados. Con el fin de maximizar la eliminación de OMP y reducir la dosis de PAC (que aumenta el costo y la huella de carbono), se propone un sistema híbrido PAC-O₃-MBR.

A continuación se resumen las ventajas que se esperan del sistema PAC-O₃-MBR en comparación con los sistemas más modernos y en comparación con los sistemas PAC-MBR:

- Eliminaciones globales más altas para todas las OMP (> 85%) debido al efecto combinado de la biotransformación-oxidación y adsorción y eliminación de los metabolitos generados por oxidación a través de la adsorción.
- Menor dosis de PAC debido a una saturación más lenta del adsorbente
- Menor generación de lodos y mayor desinfección.
- La mejora de la filtrabilidad de los lodos es posible para aplicar flujos de filtración más altos en la UF y, por lo tanto, reducir la inversión y los costos operativos asociados.

Un prototipo con una producción total de agua recuperada de 10 m³/h se diseñará y ubicará en la EDAR Camp de Turia II para recuperar agua potable (desde un punto de vista ambiental y de salud humana) para sistemas de control de incendios y para fines ambientales, incluyendo la recuperación de la calidad del humedal de La Vallesa. Como se puede ver en la figura 3 un tratamiento biológico (anaeróbico, anóxico y aeróbico) con dosis PAC, O₃ de inyección y se acopla con una membrana de ultrafiltración que se propone.

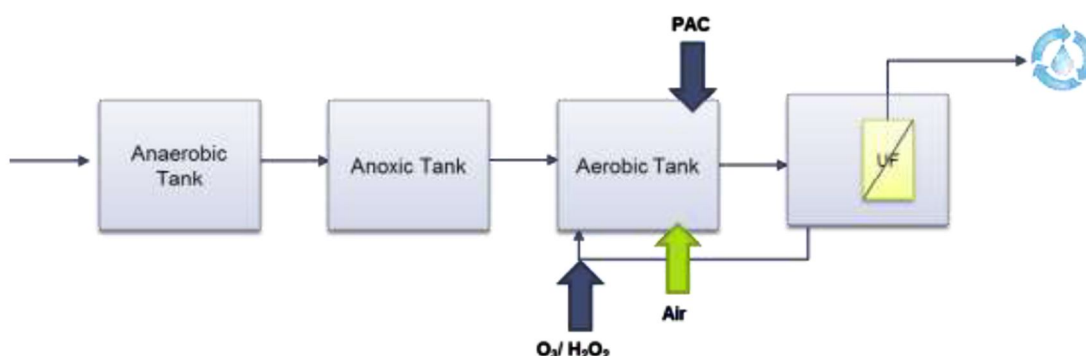


Figura 7. Esquema prototipo PAC-O₃-MBR. Fuente: Proyecto LIFE Aware

Se tendrán en cuenta diferentes opciones para la membrana durante las tareas de diseño:

- **Opción 1:** UF externa después del tanque aeróbico (filtración de lodos)
- **Opción 2:** UF sumergida en tanque aeróbico (filtración de lodo)
- **Opción 3:** UF sumergida en el clarificador secundario (filtración del efluente secundario clarificado) lo que implicaría que en lugar de un MBR sería un CAS + PAC + O₃ seguido de una membrana de UF.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PROYECTO

El enfoque de la economía circular ha demostrado ser una opción adecuada para la gestión eficiente, equitativa y sostenible del agua. Además, las técnicas de optimización son una herramienta útil para apoyar el proceso de decisión de asignación de agua. Un modelo de optimización representa un enfoque novedoso que considera la eficiencia de la distribución del agua y las conexiones físicas entre el suministro de agua y los puntos de demanda.

En este proyecto, proponemos desarrollar y aplicar un modelo de optimización de agua que considere la disponibilidad de agua regenerada y su beneficio social y ambiental. Incluir el cambio climático futuro, el crecimiento de la población y el análisis de riesgo, nos permitirá sugerir un camino de desarrollo equilibrado de los recursos hídricos disponibles en un área territorial específica.

La selección de mejores prácticas / estrategias para mejorar la efectividad de la gestión del agua requiere la consideración de múltiples objetivos y criterios (por ejemplo, económicos, ambientales, técnicos y sociales) y las complejas interacciones entre ellos al mismo tiempo. Además, un análisis confiable de la gestión del agua exige identificar puntos fuertes y débiles de las diferentes estrategias operativas e incluir incertidumbre / riesgo durante el procedimiento de evaluación para analizar cómo afecta los procesos de toma de decisiones. Esta complejidad hace necesario el desarrollo de un análisis de decisiones multicriterio riguroso y sistemático que respalde al formulador de políticas para lograr una evaluación y comparación apropiadas de las alternativas en un enfoque de costo sin acción versus costo de acción (CNA-CA).

En el contexto del análisis de la política del agua, también proponemos una evaluación de impacto de estas acciones en términos de eficiencia económica y sostenibilidad del uso del agua en áreas urbanas.

La evaluación socioeconómica de las medidas propuestas se llevará a cabo a través de la programación matemática y los modelos econométricos que buscan soluciones de optimización. La estimación de las funciones de costo para actividades, procesos o tecnologías específicas permitirá identificar el comportamiento de los elementos de costo así como los determinantes de costo. La eficiencia de las diferentes medidas propuestas se estudiará a través de los modelos de análisis de envolvente de datos (DEA).

Para analizar la viabilidad de diferentes acciones, la cuantificación de los beneficios sociales y ambientales derivados de las acciones propuestas se llevará a cabo utilizando una nueva metodología basada en el cálculo de los precios sombra.

Los costos y beneficios serán analizados desde un punto de vista dinámico, contemplando diversos escenarios en presencia de incertidumbre.

Algunas metodologías (simulación de Monte Carlo, tolerancias estadísticas y modelo difuso) también se utilizarán para cuantificar la reducción del riesgo de incendios forestales gracias a la implementación del proyecto propuesto.

5. CONCLUSIONES

El cambio climático previsiblemente elevará la frecuencia y gravedad de los incendios forestales en las próximas décadas, simultáneamente reduciendo la disponibilidad de los recursos hídricos que constituyen una herramienta clave en la defensa ante aquellos.

El proyecto UIA-GUARDIAN ofrece una oportunidad única de poner a prueba durante los próximos años estrategias combinadas y efectivas de mitigación del riesgo de incendio en las zonas más vulnerables (interfaz Urbano-Forestal) empleando recursos hídricos alternativos. Permite, además, capitalizar los resultados de proyectos previos en ámbitos muy diferentes, y aborda de forma simultánea varios aspectos del cambio climático.

GUARDIAN es una muestra del potencial no explorado y la importancia de la reutilización en un contexto de creciente escasez de recursos hídricos. Es fundamental, además, su aportación al estudio de la viabilidad económica de los tratamientos avanzados de reutilización en un contexto de aplicación real.

El proyecto GUARDIAN está liderado por el Ayuntamiento de Riba-roja, y cuenta además con la participación de Hidraqua, Medi XXI, Universidad Politécnica de Valencia (IIAMA), Grupo de Economía del Agua de la Universidad de Valencia, Ayuntamiento de Paterna y Parque Natural del Túrria (Generalitat Valenciana).

REFERENCIAS

AEMA (2012) *Los impactos del cambio climático en Europa: evaluación basada en indicadores*. Informe conjunto de la AEMA, CCI y OMS. Oficina de Publicaciones de la CE y Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid, 240 p.

BEHRENS, A. et al. (2010) Future Impacts of Climate Change across Europe. *CEPS Working Document* No. 324. <http://www.ceps.eu>

CALKIN, D. et al. (2014) How risk management can prevent future wildfire disasters in the wildland-urban interface. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*.

DICUS, C. (2016) Changing WUI fire risk in dissimilar communities of Southern California, USA. *Proceedings of the International Conference on Forest Fires and WUI Fires*. Aix-en-Provence, France. California Polytechnic State University.

FUENTES, R. et al. (2017): Productivity of wastewater treatment plants in the Valencia

Region of Spain, *Utilities Policy*, 46, pp 58-70

HERNÁNDEZ-SANCHO, F et al. (2015): Economic Valuation of Wastewater - The cost of action and the cost of no action. *United Nations Environment Programme*. ISBN: 978-92-807-3474-4

HERNÁNDEZ-SANCHO ET AL. (2015): Pricing for Reclaimed Water in Valencia, Spain: Externalities and Cost Recovery, in Dinar, A., Pochat, V., Albiac, J. (Eds.): *Water Pricing Experiences and Innovations*, Springer International Publishing, pp. 431-443, ISBN: 2211-0631

MADRIGAL OLMO et al. (2013) Characterization of wildland-urban interfaces for fire prevention in the province of Valencia (Spain) *Forest Systems Vol 22, No 2*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria

MODUGNO, S. et al. (2016) Mapping regional patterns of large forest fires in Wildland-Urban Interface areas in Europe. Elsevier.

OMIL, F. et al. (2013) Removal of Pharmaceuticals by Membrane Bioreactor (MBR) Technology *Comprehensive Analytical Chemistry* 287-317, Vol.62, Chapter 9. Elsevier

PRATS, D. y MELGAREJO, J. (2006) Desalación y reutilización de aguas. Situación en la provincia de Alicante, pp 139-144. COEPA- Instituto Universitario del Agua y Ciencias Ambientales.

VARIOS AUTORES (2016) LIFE aWARE: Innovative Hybrid MBR Systems to promote Water Reuse – Lyman's Report. <http://www.life-aware.eu>