

PREVISIO

Simulador Digital Profesional para la Gestión Integral de Emergencias

Basado en Inteligencia Artificial, Simulación Física y Sistemas de Información Geográfica (GIS)

Fundamentos científicos · Formulación matemática · Arquitectura de datos

Validación y verificación · Homologación administrativa y legal

DISEÑO, PROGRAMACIÓN & ARQUITECTURA
DE SOFTWARE

INTELLIGENTIA.dev

PREVISIO v 1.0

Arquitecto de Software: José Martínez

PRESENTADO A

Administraciones con competencia en protección civil, aguas y montes

Mutxamel · l'Alacantí · Alicante

Naturaleza y alcance de este documento

Este dossier describe la plataforma **Previsio**: qué calcula, con qué ecuaciones, sobre qué datos, con qué precisión demostrada y con qué límites. Está escrito para ser leído por tres públicos distintos y de forma independiente:

- **Responsables políticos y de gestión municipal**, a quienes se dirigen el prólogo, el resumen ejecutivo y el Volumen I. No requieren conocimientos técnicos.
- **Técnicos municipales, ingenieros y peritos**, destinatarios de los Volúmenes II a V, donde toda afirmación va acompañada de su formulación, su referencia bibliográfica y su comprobación numérica.
- **Servicios jurídicos y de contratación**, a quienes corresponde el Volumen VI, dedicado íntegramente a los trámites de homologación, acreditación y encaje normativo ante cada entidad administrativa y legal competente.

ADVERTENCIA ESENCIAL SOBRE EL VALOR DE LOS RESULTADOS

Previsio es una herramienta de apoyo a la decisión, no un documento administrativo con valor certificante. Sus salidas no sustituyen, ni pretenden sustituir, a la cartografía oficial de peligrosidad (PATRICOVA, SNCZI-MITECO), al planeamiento urbanístico municipal, a los planes de actuación de ámbito local aprobados, ni a los informes preceptivos de los organismos de cuenca. Toda simulación es una hipótesis cuantificada bajo unos parámetros que el operador elige, y su fiabilidad está acotada por la incertidumbre que el Volumen V declara de forma expresa y numérica.

Las decisiones con efectos jurídicos —licencias, calificaciones, evacuaciones obligatorias, declaraciones de riesgo— corresponden a la autoridad competente y a los instrumentos oficiales. Lo que esta plataforma aporta es *tiempo* y *orden de magnitud* en el momento en que ambos son escasos.

Ficha de control documental

Título	Dossier Técnico — PREVISIO (Simulador Digital Profesional)
Diseño, Programación y Arquitectura	Creada por INTELLIGENTIA.dev
Arquitecto de Software del Proyecto	José Martínez (Arquitecto Principal del Software y del Simulador Digital Profesional)
Versión de la aplicación	PREVISIO v 1.0
Versión / revisión del dossier	3.7 · PRO GIS V2 (Libro Blanco v1.7)
Fecha de emisión	6 de septiembre de 2026 (generado el 2026-09-06 08:13)
Referencia de esta versión	MP-3.7-331e9102 La parte final es una huella del contenido: dos copias con la misma referencia son el mismo documento. Si cambia una sola línea, la referencia cambia. Contraste la suya con la del documento publicado en intelligentia.dev/mutxamelprevisio/dossier.php para saber si tiene la última versión.
Destinatario	Administraciones con competencia en protección civil, aguas y montes, y público general
Ámbito geográfico	Término municipal de Mutxamel (Alicante) y su entorno hidrológico: cuenca baja del río Monnegre o Seco
Estado	Documento de presentación institucional. No constituye proyecto técnico visado ni informe pericial
Confidencialidad	Documento de difusión libre. La plataforma es de uso libre y gratuito
Extensión	Ocho volúmenes y cinco anexos (156 páginas A4)
Trazabilidad	Cada ecuación y cada cifra de este documento se corresponde con código en producción, diseñado y programado por INTELLIGENTIA

Registro de versiones

Versión	Fecha	Cambios principales
1.0	Junio de 2026	Primera memoria descriptiva del módulo de incendios. Once secciones.
2.0	29 de julio de 2026	Incorporación del módulo hidráulico, del río Monnegre, del motor de cálculo, del inventario de controles y de la bibliografía referenciada. Diecisiete secciones.
2.1	30 de julio de 2026	Corrección de una atribución bibliográfica que había dejado de corresponder al algoritmo en producción tras el cambio del trazado de envoltentes.
3.0	31 de julio de 2026	Refundición completa & Libro Blanco v1.0. Documento autónomo en 136 páginas A4. Integración del Prólogo Institucional, marco conceptual del Simulador Digital Profesional de Escala Municipal, deducción íntegra de modelos físicos, análisis de sensibilidad y mapa completo de homologación.
3.1	2 de agosto de 2026	Revisión de datos y de operación. Integración de la observación oficial de AEMET y de sus avisos de fenómenos adversos; cascada de cuatro fuentes meteorológicas reales; pluviometría del SAIH en el término y en la cabecera del Monnegre. Retirada de todos los valores fabricados que la aplicación devolvía cuando una fuente no respondía (capítulo 21.4). Endurecimiento de seguridad y correcciones de operación verificadas en navegador real.
3.2	3 de agosto de 2026	Auditoría previa a la presentación. Verificación sistemática de ambos módulos sobre la aplicación en ejecución. Se iguala el rótulo del indicador de copas al criterio que de verdad se calcula —el <i>umbral de paso</i> de Van Wagner, no el régimen de copas activo, que el Volumen V declara como límite—. Se incorpora el apartado 23.4 con las capas ráster de la NASA del módulo de inundación y la regla de la fecha publicada, que impide mostrar una capa vacía como si fuera ausencia de agua. Auditoría de la plataforma en producción: se implementa el escenario de previsión real en vivo, que hasta ahora no hacía nada y dejaba a la vista los valores del episodio anterior; se corrige la carga de las edificaciones, cuya ausencia hacía que los informes de daños y de población afectada devolvieran cero; y se declara en la Tabla 30.2 el alcance real de la comparativa del colector del Juncaret.
3.3	3 de agosto de 2026	El término municipal completo. Se detectó que el dominio de cálculo dejaba fuera 14,6 km² del término —el 30 %— , y precisamente la cabecera occidental, 137 m por encima del casco, cuya escorrentía no entraba en el modelo. El dominio pasa de 78,3 a 142,5 km² y contiene ahora el término entero con más de un kilómetro de margen; la malla sube a 192 × 192, con celdas de 77 × 50 m, mejores que las 86 × 98 m anteriores. Se incorpora la geometría oficial del término (IGN, WFS INSPIRE, código 34100303090, 47,71 km²), que sustituye a un polígono de once vértices trazado a mano que cerraba 27 km² y se rotulaba «todo el término municipal», y con la que se recortan al municipio todos los recuentos publicados : superficie inundada, edificaciones, población y valoración de daños. Se corrige además el instante que llevaban los informes, que se emitían en el minuto 1 con todo a cero. Cierre del balance de volumen sobre el dominio nuevo: 0,000 %.
3.4	3 de agosto de 2026	El veredicto de la parcela. Se detectó que la consulta de parcela sólo contrastaba el <i>calado</i> y no la <i>peligrosidad</i> , de modo que un punto situado dentro de un perímetro rojo trazado por corriente rápida sobre lámina baja podía presentarse en verde; y que un veredicto favorable podía emitirse sin haber resuelto ningún episodio , apoyado sólo en una cartografía que recoge la inundación fluvial y no la pluvial. Ambas cosas quedan corregidas: el punto sobre el mapa se marca ahora con dos colores y sólo dos, el veredicto emplea los mismos umbrales con los que se perimetran las zonas críticas, y un favorable exige haber contrastado contra un episodio. Nuevo apartado 46.4 con las Tablas 46.3 y 46.4.
3.5	3 de agosto de 2026	Documentación de las capacidades y correcciones de la revisión. Nuevo apartado 46.8 con el modo de demostración guiada —veinte escenas, dos ritmos— y con la regla de que conmutar de módulo o lanzar un escenario preparado vacía siempre el escenario anterior. Nueva Tabla 26.5 en el Volumen V con las dos correcciones de la revisión que afectaban a cifras publicadas: los informes de daños y población emitidos en el minuto 1 con todo a cero, y el veredicto de parcela que podía declarar favorable un punto situado dentro de un perímetro de grave riesgo.

Versión	Fecha	Cambios principales
3.6	3 de agosto de 2026	El colector del Juncaret, con sus pros y sus contras. Nuevo apartado 44.2 con dos tablas enfrentadas: lo que la actuación aporta —retirar el caudal de las calles, laminar la punta, actuar a escala de cuenca, evitar el vertido de las primeras aguas a la costa y devolver 60.000 m² de espacio público— y lo que no resuelve: no neutraliza una DANA, traslada caudal aguas abajo, puede inducir falsa seguridad, no modifica por sí sola la zonificación oficial, depende del mantenimiento y atraviesa un otoño en obras. Se incorporan además las dos condiciones en que la balsa puede jugar en contra: llena , con capacidad nula ante la punta siguiente de una secuencia de danas y riesgo de rebose no controlado; y vacía , como acumulador de residuos o vector sanitario. Y la responsabilidad nueva que trae un parque público que es a la vez vaso de inundación. Se completan los datos de la actuación con el desglose de financiación (10 M€ Generalitat, 3 M€ ayuntamientos), el trazado en paralelo al túnel de la A-7 y la condición de primer parque fluvial de la provincia.
3.7	6 de septiembre de 2026	Sello de versión y fecha automática. La fecha de emisión deja de estar escrita a mano y se toma del día en que se genera el documento. Cada emisión lleva ahora una referencia única del tipo <code>MP-3.7-xxxxxxx</code> , cuya parte final es una huella del contenido de los ocho volúmenes: dos copias con la misma referencia son necesariamente el mismo documento, y basta con que cambie una línea para que la referencia cambie. Figura en la portada, en esta ficha documental y al pie de todas las páginas del PDF , de modo que una hoja suelta sigue diciendo de qué versión procede. Los informes que emite la aplicación llevan su propio sello equivalente, <code>MPA-xxxxxxx</code> , derivado del contenido del motor y de los servicios.

Criterio de redacción

Este documento se rige por una regla única, de la que dependen todas las demás: **lo que se afirma, se demuestra**. En consecuencia:

- No se emplea ninguna fórmula propia ni ningún coeficiente de ajuste sin publicar. Toda ecuación procede de literatura revisada por pares o de normativa técnica española, y se cita con su referencia completa en el Anexo C.
- Cuando el modelo se aparta de una observación de campo, **la desviación se declara con su magnitud y su signo**, no se omite ni se maquilla. El capítulo 21 está dedicado íntegramente a ello.
- Cuando una cifra es una estimación y no una medida, se dice expresamente que lo es.
- Se incluye un capítulo —el 22— dedicado a **lo que la plataforma no hace**. Es probablemente el capítulo más importante de cara a un organismo evaluador.

PRÓLOGO

Hacia una nueva generación de municipios resilientes

Las administraciones públicas se enfrentan hoy a uno de los mayores desafíos de su historia reciente. El aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, la expansión de las zonas urbanizadas y la creciente complejidad de las infraestructuras críticas están modificando profundamente la forma en que deben planificarse y gestionarse las emergencias.

En las últimas décadas, incendios forestales de gran magnitud, inundaciones repentinas, olas de calor y otros episodios extremos han puesto de manifiesto que los modelos tradicionales de gestión reactiva resultan cada vez menos eficaces. Esperar a que una emergencia se produzca para comenzar a recopilar información o coordinar recursos supone asumir un nivel de riesgo que muchas administraciones ya no pueden permitirse.

Al mismo tiempo, la revolución digital ha transformado nuestra capacidad para comprender el territorio. La disponibilidad de cartografía de alta resolución, modelos digitales del terreno, imágenes satelitales, redes de

sensores, servicios meteorológicos en tiempo real y algoritmos avanzados de inteligencia artificial hace posible un cambio de paradigma: **pasar de la reacción a la anticipación**.

En este contexto surge el concepto de **Simulador Digital Profesional**, una representación virtual avanzada de un entorno físico que evoluciona de forma sincronizada con la realidad y permite analizar, simular y predecir el comportamiento de sistemas complejos. Aunque esta tecnología nació en el ámbito industrial y aeroespacial, su aplicación al territorio y a la gestión de emergencias abre nuevas posibilidades para mejorar la resiliencia de ciudades y municipios.

INTELIGENCIA TERRITORIAL Y TOMA DE DECISIONES

Previsio® nace con esta visión. No pretende ser únicamente una aplicación informática ni un visor cartográfico avanzado. Se concibe como una plataforma integral de inteligencia territorial capaz de combinar información geográfica, modelos científicos, inteligencia artificial y datos en tiempo real para apoyar la toma de decisiones antes, durante y después de una emergencia.

El objetivo de este Libro Blanco es presentar los fundamentos conceptuales, científicos y tecnológicos de esta plataforma, describiendo tanto su arquitectura como los principios que sustentan su desarrollo. Más allá de la descripción de una solución tecnológica concreta, esta obra propone una metodología para construir municipios más preparados, resilientes y sostenibles mediante el uso inteligente de los datos.

RESUMEN EJECUTIVO

Qué es, qué resuelve y qué lo distingue

Los municipios mediterráneos se encuentran entre los territorios europeos con mayor exposición a incendios forestales e inundaciones pluviales. La combinación de factores climáticos, topográficos, urbanísticos y demográficos incrementa la probabilidad de que fenómenos naturales relativamente frecuentes se conviertan en emergencias con importantes consecuencias humanas, económicas y ambientales.

Tradicionalmente, la gestión de estos riesgos se ha basado en información fragmentada procedente de diferentes organismos, cartografía estática y la experiencia de los profesionales implicados. Aunque este enfoque ha permitido responder a numerosas situaciones de emergencia, presenta limitaciones evidentes cuando es necesario analizar grandes volúmenes de información en tiempos muy reducidos.

La evolución de los Sistemas de Información Geográfica (GIS), la disponibilidad de datos abiertos, el desarrollo de modelos físicos de simulación y el avance de la inteligencia artificial permiten hoy construir plataformas capaces de integrar todos estos elementos en un único entorno operativo.

ARQUITECTURA MODULAR DEL SIMULADOR DIGITAL PROFESIONAL DE ESCALA MUNICIPAL

Previsio® responde a esta necesidad mediante una arquitectura modular que combina:

- **Sistemas de Información Geográfica (GIS):** Malla LiDAR 3D del IGN y cartografía vectorial.
- **Simulación física de incendios forestales:** Ecuaciones de Rothermel (1972) y Albini (1976).
- **Modelización hidráulica de inundaciones:** Método de Témez y flujo bidimensional de Manning.
- **Integración de datos meteorológicos en tiempo real:** Satélites NASA FIRMS, SAIH Júcar y AEMET.
- **Inteligencia Artificial para apoyo a la decisión:** Asistente conversacional bilingüe de emergencia.
- **Visualización tridimensional del territorio:** Representación dinámica del Simulador Digital Profesional a 60 FPS.
- **Generación automática de informes técnicos:** 9 informes oficiales exportables en PDF en 1 clic.

La plataforma se concibe como un **Simulador Digital Profesional de escala municipal, privado e independiente de la Administración**, proporcionando una representación dinámica del territorio capaz de simular diferentes escenarios de riesgo y facilitar la planificación preventiva, la coordinación operativa y la toma de decisiones durante una emergencia.

Este Libro Blanco describe los principios de funcionamiento de la plataforma, sus fundamentos científicos, las tecnologías empleadas y las oportunidades que ofrece para impulsar una nueva generación de municipios inteligentes, resilientes y preparados frente a los desafíos derivados del cambio climático.

2

RIESGOS SIMULADOS:
INCENDIO FORESTAL
E INUNDACIÓN
PLUVIAL

14

MODELOS CIENTÍFI-
COS PUBLICADOS
IMPLEMENTADOS

9

INFORMES OFICIALES
EXPORTABLES EN PDF

11

FUENTES DE DATOS
OFICIALES
INTEGRADAS

0 €

COSTE DE LICENCIAS
DE DATOS O DE SOFT-
WARE DE TERCEROS

PRESENTACIÓN INSTITUCIONAL

«La diferencia entre una emergencia controlada y una catástrofe suele medirse en minutos.»

Los incendios forestales y las inundaciones pluviales representan las dos amenazas naturales de mayor impacto económico y social para los municipios mediterráneos. **Previsio** nace no como un visor cartográfico ni como una aplicación más, sino como una plataforma integral de apoyo estratégico para proteger a la población, el patrimonio y las infraestructuras críticas del término municipal.

Los cuatro pilares

Los cuatro pilares de la plataforma y el volumen que desarrolla cada uno.

Pilar	En qué consiste	Dónde se desarrolla
Predecir	Simulación física basada en modelos científicos publicados y revisados por pares.	Volúmenes II y III · ecuaciones, coeficientes y límites de validez
Analizar	Integración automática de datos oficiales de ocho fuentes públicas, en vivo.	Volumen IV · procedencia, licencia, resolución y latencia medida
Decidir	Herramientas tácticas de apoyo al mando: tiempos de llegada, rutas, censo y avisos.	Volúmenes VII y VIII · operación e inventario de capacidades
Proteger	Traslación de todo lo anterior a decisiones de protección de personas e infraestructuras.	Volumen VI · encaje institucional que lo hace utilizable

Quién ha diseñado, creado, programado y arquitecturado la plataforma

La plataforma **Previsio®** ha sido íntegramente concebida, diseñada, creada, programada y estructurada en su arquitectura de software por **INTELLIGENTIA** (<https://intelligentia.dev>), especializada en ingeniería de software avanzada e inteligencia artificial.

Toda la arquitectura del software de la aplicación, el diseño conceptual del Simulador Digital Profesional y la programación de los motores físicos de simulación han sido creados y liderados por el Arquitecto de Software del proyecto, **José Martínez**. La firma diseña y construye sistemas a medida en los que la ciencia fundamental, la simulación física a 60 FPS y el software de misión crítica se unen para resolver problemas de protección civil municipal que las herramientas comerciales convencionales no abordan. Su premisa de trabajo es construir la solución integral *desde las leyes físicas fundamentales hasta la última línea de código de producción*.

Capacidades de INTELLIGENTIA aplicadas a este proyecto.

Ámbito	Aplicación en PREVISIO
Arquitectura de Software	Concebida, diseñada y programada por el Arquitecto de Software José Martínez, integrando motores físicos 2D en tiempo real (60 FPS), Web Workers y buffers transferibles.
Simulación numérica	Implementación de los modelos de propagación e hidráulicos de los Volúmenes II y III, con verificación numérica contra valores analíticos publicados.
Plataformas geoespaciales (GIS)	Arquitectura del visor dinámico, tratamiento de la malla LiDAR 3D del IGN, integración SIO-SE y servicios WMS/WCS oficiales.
Sistemas con Inteligencia Artificial	Asistente conversacional bilingüe de emergencia con conocimiento del estado activo de la simulación.
Presencia e Infraestructura	INTELLIGENTIA cuenta con centros de desarrollo en España y Suiza, alojando la producción en servidores búnker en Suiza (Infomaniak).

El problema que resuelve

Mutxamel reúne, en catorce kilómetros cuadrados, una combinación de riesgos poco frecuente: masa forestal mediterránea en la mitad norte del término, un casco urbano en cota baja, urbanizaciones dispersas con una única vía de salida, huerta regada históricamente, y el cauce del río Monnegre —el Seco— atravesándolo de noroeste a sureste, con dos azudes históricos y el embalse de Tibi aguas arriba. Cuando se declara una emergencia, el mando municipal debe decidir con lo que tiene: la experiencia del jefe de guardia, un plano en papel y llamadas de teléfono.

Esa decisión —evacuar o no, por dónde, a quién primero— se toma hoy sin una estimación cuantitativa del tiempo disponible. La aportación de esta plataforma es exactamente esa cifra: cuántos minutos faltan para

que el frente alcance una urbanización concreta, con qué intensidad llegará, y qué ruta de salida sigue estando libre en ese instante.

Qué lo distingue de una animación

La diferencia entre una herramienta de simulación y una animación de presentación es que la primera resuelve ecuaciones y la segunda dibuja formas. Esta plataforma resuelve, para el incendio, el modelo de propagación superficial de **Rothermel (1972)** con los ajustes de **Albini (1976)** —el mismo núcleo de cálculo que emplean BehavePlus, FARSITE y FlamMap del Servicio Forestal de los Estados Unidos—, la intensidad y longitud de llama de **Byram (1959)**, el umbral de paso a copas de **Van Wagner (1977)**, la humedad de equilibrio de **Simard (1968)** y la geometría elíptica de avance de **Alexander (1985)** del sistema canadiense FBP.

Para la inundación resuelve el umbral de escorrentía de **Témez**, recogido en la Instrucción 5.2-IC de drenaje superficial, y propaga el agua sobre el modelo digital del terreno con un esquema bidimensional de **celdas de almacenamiento** gobernado por la ecuación de **Manning**, con la rugosidad tabulada por **Chow (1959)** asignada según el uso real del suelo. La peligrosidad se evalúa con el criterio de calado por velocidad del **Reglamento del Dominio Público Hidráulico**.

LA CONSECUENCIA PRÁCTICA

Que las ecuaciones sean las oficiales significa que **los resultados son discutibles en términos técnicos y por tanto defendibles ante un organismo**. Un modelo propio no auditable no puede presentarse ante la Agència Valenciana de Seguretat i Resposta a les Emergències ni ante una confederación hidrográfica. Uno construido sobre Rothermel y Témez, sí: se le puede pedir el contraste, y ese contraste está hecho y publicado en el Volumen V.

Lo que aporta al Ayuntamiento y a la ciudadanía

Ámbito	Aportación concreta y verificable
Emergencia en curso	Estimación del tiempo de llegada del frente a cada punto poblado, ruta de evacuación que evita la zona activa, y censo aproximado de población afectada, en menos de un minuto desde que se sitúa el foco.
Planificación preventiva	Ensayo de escenarios de periodo de retorno 10, 100 y 500 años, y comparación cuantificada del efecto de una obra de drenaje antes de licitarla.
Transparencia con el vecino	Consulta de una parcela concreta con informe imprimible: si está o no dentro de la mancha de peligrosidad oficial y qué calado alcanzaría en cada escenario.
Formación y simulacro	Reproducción acelerada de episodios históricos reales para adiestramiento del CECOPI municipal, sin coste de despliegue.
Autonomía municipal	Un municipio de 26.000 habitantes con capacidad propia de análisis de riesgo, no dependiente de la disponibilidad de un equipo autonómico durante el episodio.

La conexión con la Agencia Estatal de Meteorología

La plataforma lee en directo **dos servicios de AEMET**. El primero es la **observación real** de la estación de Alicante, a 6,5 km del término: temperatura, humedad, viento, racha, presión y precipitación medidas por instrumento, no calculadas por un modelo. El segundo son los **avisos oficiales de fenómenos meteorológicos adversos** —temperaturas, lluvias, tormentas, vientos, nevadas, costeros, nieblas y polvo— para las tres zonas de Alicante.

POR QUÉ ESTO IMPORTA MÁS QUE CUALQUIER OTRA FUNCIÓN

Todo lo demás que produce esta plataforma, incluidos los dos motores físicos completos, es **apoyo a la decisión**. Los avisos de AEMET no: son la **declaración oficial del Estado**, y son los que activan los protocolos de protección civil. Que el municipio los vea en la misma pantalla en que simula el episodio, y no en otra ventana, es la diferencia entre una herramienta de análisis y un puesto de mando.

Una regla que atraviesa todo el sistema

La plataforma no fabrica datos. Cuando una fuente no responde, lo dice; nunca sustituye la medición ausente por una cifra verosímil. La regla se adoptó tras encontrar y corregir cuatro incumplimientos reales —entre ellos un parte meteorológico que, sin conexión, generaba veinticuatro horas de predicción con ruido aleatorio y se exportaba en PDF para un expediente—. El apartado 21.3 los relaciona uno a uno con su corrección.

Estado de madurez, con honestidad

La plataforma está **operativa y verificada en navegador real**, con los dos módulos funcionando sobre el término municipal. No está **homologada**: la homologación es un procedimiento administrativo con requisitos formales, plazos e interlocutores, y está en curso. El Volumen VI detalla, entidad por entidad, en qué consiste cada trámite, qué documentación exige, qué plazo tiene y en qué punto se encuentra. Ese volumen se ha escrito precisamente para que las administraciones competentes puedan impulsar el proceso con conocimiento de causa y sin prometer lo que todavía no está concedido.

ÍNDICE

Índice general

PRELIMINARES	
—	Naturaleza y alcance · Control documental · Registro de versiones · Resumen ejecutivo
VOLUMEN I · MARCO INSTITUCIONAL, NORMATIVO Y ECONÓMICO	
Capítulo 1	El riesgo real de Mutxamel: caracterización del territorio
Capítulo 2	Marco normativo aplicable: de la directiva europea a la ordenanza municipal
Capítulo 3	Qué cambia en la gestión de la emergencia: matriz antes / después
Capítulo 4	Impacto económico, coste evitado y retorno de la inversión
Capítulo 5	Comparativa técnica con los sistemas de referencia
VOLUMEN II · FUNDAMENTOS FÍSICOS DEL MÓDULO DE INCENDIOS	
Capítulo 6	Física del fuego forestal: del balance de energía al frente de llama
Capítulo 7	El modelo de Rothermel, término a término
Capítulo 8	Modelos de combustible y su correspondencia con la vegetación de Mutxamel
Capítulo 9	Humedad del combustible: el mecanismo que gobierna la ignición
Capítulo 10	Intensidad, longitud de llama y paso a fuego de copas
Capítulo 11	Geometría del perímetro: la elipse de Alexander y la propagación de Huygens
Capítulo 12	Tiempo de evacuación direccional: resolución analítica
Capítulo 13	Análisis de sensibilidad del motor de incendios
VOLUMEN III · FUNDAMENTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS	
PREVISIO · Dossier Técnico · MP-3.7-331e9102 · emitido el 6 de septiembre de 2026 · PREVISIO v 1.0 · Creada por INTELLIGENTIA.dev	
Capítulo 14	Hidrología de la gota fría en el litoral alicantino

Capítulo 15	Lluvia de diseño: de la curva IDF al hietograma de bloques alternos
Capítulo 16	Lluvia neta: el umbral de esorrentía de Témez
Capítulo 17	Propagación bidimensional: celdas de almacenamiento y Manning
Capítulo 18	Estabilidad numérica, conservación de masa y coste de cálculo
Capítulo 19	El río Monnegre, el embalse de Tibi y los azudes históricos
Capítulo 20	Peligrosidad para personas y vehículos: el criterio calado · velocidad
VOLUMEN IV · DATOS, SATÉLITES Y ARQUITECTURA	
Capítulo 21	Fuentes de datos oficiales: procedencia, licencia, resolución y latencia
Capítulo 22	Sistemas de referencia, proyecciones y errores derivados
Capítulo 23	Observación satelital: NASA FIRMS, Copernicus y teledetección aplicada
Capítulo 24	Arquitectura de la aplicación y capa PRO GIS V2
Capítulo 25	Rendimiento medido, seguridad e infraestructura
VOLUMEN V · VALIDACIÓN, VERIFICACIÓN E INCERTIDUMBRE	
Capítulo 26	Verificación numérica: contraste contra valores publicados
Capítulo 27	Validación frente a episodios reales
Capítulo 28	Tratamiento de la incertidumbre y propagación de errores
Capítulo 29	Protocolo de verificación reproducible
Capítulo 30	Limitaciones declaradas: lo que la plataforma no hace
VOLUMEN VI · HOMOLOGACIÓN ADMINISTRATIVA Y LEGAL	
Capítulo 31	Qué significa homologar y qué no
Capítulo 32	Administración local: el Ayuntamiento de Mutxamel
Capítulo 33	Administración autonómica: Generalitat Valenciana y AVSRE
Capítulo 34	Administración hidráulica: Confederación Hidrográfica del Júcar
Capítulo 35	Administración General del Estado y Unión Europea
Capítulo 36	Validación pericial universitaria y científica independiente
Capítulo 37	Protección de datos, propiedad intelectual y responsabilidad civil
Capítulo 38	Contratación pública: cómo puede el Ayuntamiento adquirir la plataforma
Capítulo 39	Cronograma integrado de homologación y estado de cada trámite
VOLUMEN VII · OPERACIÓN	
Capítulo 40	Manual de operación en sala y guía de demostración
Capítulo 41	Los nueve informes oficiales exportables
Capítulo 42	Requisitos técnicos, despliegue y mantenimiento
VOLUMEN VIII · CAPACIDADES OPERATIVAS Y VISIÓN DE FUTURO	
Capítulo 43	Capacidades tácticas del módulo de incendios
Capítulo 44	Capacidades tácticas del módulo hidráulico
Capítulo 45	Capacidades comunes: asistente, avisos y comunicación
Capítulo 46	Consulta de parcela: «no compre antes de simular»
Capítulo 47	Indicadores tácticos de rendimiento
Capítulo 48	Hoja de ruta estratégica 2026 – 2030

ANEXOS	
Anexo A	Nomenclatura, símbolos y unidades
Anexo B	Tablas completas de coeficientes y parámetros
Anexo C	Bibliografía científica
Anexo D	Marco normativo y legislativo consolidado
Anexo E	Inventario completo de controles de la aplicación

ÍNDICE

Índice de figuras

Las 27 figuras de este documento son gráficos vectoriales. Las de los Volúmenes II y III se generan ejecutando las ecuaciones del simulador en el momento de componer el documento, no transcribiendo valores: si el motor cambia, la figura cambia con él. Este índice se construye leyendo los propios capítulos, por la misma razón.

Figura	Contenido
1.1	Disposición relativa de los elementos que gobiernan el riesgo municipal.
1.2	La coronación de GIALMA supera en once metros el punto más alto del casco urbano y está unos veintiocho metros por encima de su cota mediana.
2.1	Los cuatro niveles normativos que concurren sobre la gestión municipal del riesgo en Mutxamel.
4.1	El argumento económico no depende de acertar la cifra exacta.
5.1	Posición relativa de las herramientas según el tiempo que media entre la orden y la primera cifra utilizable sobre el territorio real.
6.1	Mecanismos de transferencia que gobiernan el avance.
7.1	Curva de amortiguación por humedad calculada con la ecuación implementada.
8.1	Respuesta al viento de los cuatro combustibles del término.
9.1	Curvas de equilibrio higroscópico. El cambio de pendiente visible en torno al 50 % de humedad relativa es el paso de rama de la ecuación (9.1), no un error de trazado....
10.1	La curva es cóncava: duplicar la intensidad no duplica la llama.
10.2	Umbral de iniciación de fuego de copas. La dependencia con la altura de la base de copas es potencial de exponente 1,5, lo que convierte la poda de ramas bajas en la m...
11.1	Alargamiento del perímetro con el viento.
11.2	Diferencia entre rotar la elipse y reconstruir el perímetro.
13.1	Diagrama de sensibilidad. El orden de las variables es el resultado del cálculo, no una elección: el viento domina con diferencia, seguido de la humedad del combustible...
15.1	Hietograma de diseño para el episodio de referencia.
16.1	Curvas de escorrentía. Con un umbral de 25 mm —huerta— un episodio de 100 mm produce 32 mm de escorrentía, un 32 % del total; el mismo suelo, ante un episodio de 300 m...
17.1	Esquema del intercambio. Emplear el calado total en lugar del efectivo de paso —error frecuente— permite que el agua atraviese muros y terraplenes, y produce manchas d...
17.2	El efecto de la rugosidad es dominante. Con veinte centímetros de calado y la misma pendiente, el agua circula por asfalto a más del triple de velocidad que por matorr...
18.1	Subpasos exigidos por la condición de estabilidad.
19.1	Los dos modos de aporte fluvial implementados.
20.1	Envolvente de grave riesgo. La región segura es únicamente el rectángulo inferior izquierdo por debajo de la hipérbola.

Figura	Contenido
21.1	Latencia medida el 30 de julio de 2026. El servidor de producción responde más rápido que el equipo de desarrollo contra ambos servicios, lo que confirma que la salida...
31.1	Las cuatro fases del itinerario. La fase 1 es la única que depende exclusivamente del desarrollador; las tres restantes requieren decisión municipal, que es precisamen...
39.1	Cronograma estimado. El camino crítico pasa por la presentación institucional y los informes técnicos municipales: nada de la mitad inferior puede comenzar hasta que e...
47.1	Tiempo de respuesta comparado. La ventaja no procede de un algoritmo mejor sino de una decisión de diseño distinta: resolver con una malla gruesa y un esquema de onda ...
47.2	Episodio extremo de referencia. El desfase entre ambas puntas es la información operativa: el cauce responde con retraso respecto de la lluvia, y ese retraso es el mar...
47.3	Reparto del censo municipal por núcleos, sobre el padrón del INE de 2025 (28.621 habitantes).

ÍNDICE

Índice de tablas

Tabla	Contenido
1.1	Puntos de referencia del término municipal y su cota verificada.
1.2	Cotas verificadas sobre el modelo digital de elevaciones, en metros sobre el nivel del mar.
2.1	Marco normativo en materia de inundaciones y su relación con la plataforma.
2.2	Marco normativo en materia de incendios forestales.
2.3	Normativa transversal aplicable.
3.1	Matriz comparativa de la gestión de un episodio, fase por fase.
4.1	Descomposición del coste de un episodio y efecto de la anticipación.
4.2	Escenarios de coste evitado, con hipótesis declaradas.
4.3	Estructura de costes recurrentes.
5.1	Sistemas de referencia en simulación de incendio e inundación.
5.2	Matriz funcional. El signo «—» indica que la función no está en el ámbito de la herramienta, no que sea una carencia.
5.3	Contraste del modo de operación frente a los sistemas de simulación empleados habitualmente por administraciones y servicios de emergencia.
6.1	Magnitudes fundamentales del comportamiento del fuego.
6.2	Interpretación operativa de la longitud de llama.
7.1	Los seis términos de la ecuación (7.1).
7.2	Factor de ajuste del viento para los combustibles de Mutxamel, calculado con la ecuación (7.10).
7.3	Evaluación completa de la ecuación (7.1) por modelo de combustible.
8.1	Parámetros que definen un modelo de combustible.
8.2	Modelos de combustible implementados, con sus parámetros exactos.
8.3	Criterio de asignación del modelo de combustible por zona.
8.4	Velocidad de viento a la que cada combustible alcanza su límite de viento efectivo, ecuación (7.9).
9.1	Corrección de humedad por orientación de ladera.
10.1	Efecto del factor de zona sobre el paso a copas.

Tabla	Contenido
11.1	Geometría del perímetro para vientos característicos del término.
13.1	Caso base del análisis de sensibilidad.
13.2	Lectura operativa del análisis de sensibilidad.
14.1	Probabilidad de excedencia según la ecuación (14.1).
14.2	Escenarios de periodo de retorno implementados y su correspondencia normativa.
15.1	Efecto de la posición de la punta sobre el comportamiento del episodio.
16.1	Parámetros hidrológicos e hidráulicos por uso del suelo, tal y como los declara el motor.
17.1	Jerarquía de modelos hidráulicos y posición del implementado.
17.2	Limitadores aplicados al volumen trasvasado.
18.1	Optimizaciones implementadas y su efecto sobre la exactitud.
19.1	Elementos del sistema hidráulico del Monnegre en el ámbito de simulación.
19.2	Las tres categorías de calado y su uso.
19.3	Efecto medido de la corrección. Lluvia de 60 l/m ² en 3 h; sólo varía el caudal del cauce.
20.1	Criterios de grave riesgo del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, implementados en el motor.
20.2	Comportamiento de un turismo según el calado.
20.3	Condiciones de zona segura y sus parámetros implementados.
20.4	Criterios ensayados y descartados, con la razón de su fracaso.
21.1	Fuentes de datos integradas. Todas ellas operan bajo licencias de datos abiertos.
21.2	Cascada de fuentes meteorológicas. El primer escalón que responde es el que sirve el dato.
21.3	Zonas de aviso de la provincia y fenómenos cubiertos.
21.4	Reglas de presentación de los avisos, en orden de importancia.
21.5	Los cuatro casos corregidos y su tratamiento actual.
21.6	Jerarquía de respuesta común a todas las fuentes.
21.7	Servicios propios de la aplicación.
22.1	Sistemas de referencia presentes en la cadena de datos.
22.2	Dimensiones de la celda de cálculo en la latitud del término.
23.1	Sensores empleados y sus características.
23.2	Parámetros de configuración de la asimilación satelital.
23.3	Capas ráster de la NASA disponibles en el módulo de inundación.
24.1	Componentes principales.
24.2	Módulos de la capa PRO GIS V2 y función exacta de cada uno.
25.1	Entorno verificado en producción.
25.2	Comportamiento medido de los dos motores.
25.3	Medidas de seguridad y su fundamento.
25.4	Características de la infraestructura de alojamiento.
26.1	Verificación frente a validación.
26.2	Verificación numérica del motor de incendios.
26.3	Verificación numérica del motor hidráulico.

Tabla	Contenido
26.4	Comprobaciones de consistencia.
26.5	Correcciones con efecto sobre las cifras de los informes.
27.1	Contraste frente a observación de campo.
27.2	Escenarios ejecutados y comprobaciones asociadas.
28.1	Fuentes de incertidumbre y su magnitud típica.
28.2	Propagación de la incertidumbre al resultado.
28.3	Criterio de comunicación según la fiabilidad de cada magnitud.
29.1	Errores de método detectados y su solución.
29.2	Comprobaciones del rediseño de interfaz, medidas con el protocolo anterior.
30.1	Limitaciones del módulo de incendios.
30.2	Limitaciones del módulo hidráulico.
30.3	Limitaciones que afectan a toda la plataforma.
30.4	Mejoras ordenadas por impacto sobre la fiabilidad del resultado.
31.1	Vías de reconocimiento institucional, con su efecto jurídico real.
32.1	Fundamento competencial de la actuación municipal.
32.2	Itinerario municipal completo.
32.3	Encaje de la plataforma en la estructura del Plan de Actuación Municipal.
33.1	Órganos autonómicos con competencia concurrente.
33.2	Secuencia del trámite autonómico.
34.1	Competencias del organismo de cuenca en relación con la plataforma.
34.2	Solicitudes a la Confederación Hidrográfica del Júcar.
35.1	Organismos estatales productores de los datos que consume la plataforma.
35.2	Marco e instrumentos europeos.
36.1	Naturaleza del dictamen.
36.2	Candidatos para la validación, por ámbito de especialización.
36.3	Contenido recomendado del encargo.
37.1	Análisis de tratamientos.
37.2	Actuaciones exigibles en materia de protección de datos.
37.3	Régimen de propiedad intelectual.
37.4	Delimitación de responsabilidades.
38.1	Vías de adquisición conforme a la Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público.
38.2	Vías de financiación potencialmente aplicables.
39.1	Estado de cada actuación.
40.1	Advertencias operativas de obligado conocimiento.
40.2	Canales de comunicación con el operador.
40.3	Secuencia de operación ante un incendio.
40.4	Secuencia de operación ante un episodio pluvial.
40.5	Guion de demostración.

Tabla	Contenido
40.6	Programa de formación por perfil.
41.1	Informes exportables.
42.1	Requisitos del equipo cliente, con indicación expresa de qué aporta y qué no aporta gastar más.
42.2	Consumo de red por operación, medido sobre la aplicación real.
42.3	Coste de dibujo por fotograma según el formato de pantalla.
42.4	Procedimiento de despliegue.
42.5	Calendario de mantenimiento.
43.1	Herramientas tácticas del módulo de incendios forestales.
44.1	Herramientas tácticas del módulo de inundaciones.
44.2	Lo que la actuación aporta.
44.3	Lo que la actuación no resuelve, y conviene decir antes que lo diga otro.
45.1	Capacidades comunes a los dos módulos.
46.1	Contenido del informe de parcela y procedencia de cada dato.
46.2	Las tres condiciones de zona favorable y su razón de ser.
46.3	Condiciones del veredicto favorable. Las tres han de cumplirse a la vez.
46.4	Graduación que acompaña al veredicto dentro del informe.
46.5	Los dos ritmos disponibles y para qué sirve cada uno.
48.1	Evolución planificada de la plataforma.
A.1	Símbolos empleados en el Volumen II.
A.2	Símbolos empleados en el Volumen III.
A.3	Factores de conversión exactos utilizados por el motor.
A.4	Términos técnicos empleados en el documento.
B.1	Constantes universales del modelo, con su valor implementado.
B.2	Modelos de combustible, con doble juego de unidades.
B.3	Términos que sólo dependen de la geometría del lecho, calculados con la implementación.
B.4	Tabla completa, con la escorrentía resultante para varios episodios.
B.5	Velocidad de la lámina en m/s, con pendiente de lámina del 2 %.
D.1	Normativa europea.
D.2	Normativa estatal.
D.3	Normativa autonómica.
E.1	Controles del módulo de incendios.
E.2	Controles del módulo hidráulico.
E.3	Capas disponibles.

VOLUMEN I

Marco institucional, normativo y económico

Por qué Mutxamel necesita capacidad propia de análisis de riesgo, qué obligaciones legales concurren sobre el municipio y qué representa la plataforma en términos de coste evitado.

Capítulo 1. El riesgo real de Mutxamel: caracterización del territorio

Capítulo 2. Marco normativo aplicable: de la directiva europea a la ordenanza municipal

Capítulo 3. Qué cambia en la gestión de la emergencia: matriz antes / después

Capítulo 4. Impacto económico, coste evitado y retorno de la inversión

Capítulo 5. Comparativa técnica con los sistemas de referencia

El riesgo real de Mutxamel: caracterización del territorio

Ningún modelo de simulación es mejor que su comprensión del territorio sobre el que se aplica. Este capítulo describe Mutxamel desde el punto de vista del riesgo, con las cotas y las coordenadas verificadas que utiliza el motor de cálculo, porque de esa descripción dependen todos los resultados de los volúmenes siguientes.

1.1 · Situación y encuadre físico

Mutxamel ocupa unos doce kilómetros cuadrados en la comarca de l'Alacantí, al norte del área metropolitana de Alicante, con una población en el entorno de los veintiséis mil habitantes muy desigualmente repartida entre un casco urbano compacto y un extenso conjunto de urbanizaciones dispersas. El término se extiende, en coordenadas geográficas, entre los paralelos **38,380° y 38,460° norte** y los meridianos **−0,480° y −0,400°**, que es exactamente el dominio de cálculo que carga el simulador.

Su rasgo determinante es el **gradiente altitudinal en un espacio muy corto**. Del entorno de los 40 metros sobre el nivel del mar en la huerta y la vega baja se pasa, en pocos kilómetros hacia el noroeste, a las estribaciones que superan los 400 metros. Ese desnivel, en un clima de precipitación escasa pero torrencial, produce dos consecuencias simultáneas: una masa de matorral mediterráneo continuo en la mitad alta, y una red de barrancos de respuesta muy rápida que descarga sobre la mitad baja, donde está la población.

Puntos de referencia verificados

Las coordenadas siguientes han sido contrastadas contra la geometría de OpenStreetMap y el modelo digital de elevaciones, y son las que emplea el motor. Se relacionan aquí porque cualquier comprobación externa del documento debe poder partir de ellas.

Tabla 1.1 — Puntos de referencia del término municipal y su cota verificada.

Elemento	Latitud	Longitud	Observación
Ayuntamiento de Mutxamel	38,41454	−0,44430	Referencia del casco urbano
Centro del visor cartográfico	38,41620	−0,44540	A 200 m del ayuntamiento
GIALMA · loma del Calvari	38,4055–38,4085	−0,4485 / −0,4536	Coronación a 94 m
Ermita del Calvari	38,40909	−0,45379	Alto sobre el casco
Carrer de Mallorca	38,404876 → 38,406490	−0,448514 → −0,453563	Sube de 67 a 86 m en 505 m
Assut de Sant Joan	38,4317834	−0,4432726	Azud histórico sobre el Monnegre
Assut del Campello	38,4314	−0,4366	Azud histórico, aguas abajo
Pantano de Mutxamel	38,43449	−0,45322	Vaso menor sobre el cauce

Precaución documentada: el nodo «Gialma» de OpenStreetMap está situado en 38,4052368 / −0,4513725, en plena ladera, y devuelve 74 m en lugar de los 86–94 m de la parte alta. **No debe emplearse como referencia de cota.** Las cotas de esta tabla proceden del modelo digital de elevaciones, no de ese nodo.

Elementos de riesgo del término municipal en coordenadas verificadas

Dominio de cálculo del simulador · latitud 38,380 – 38,460 N · longitud –0,480 – –0,400 E

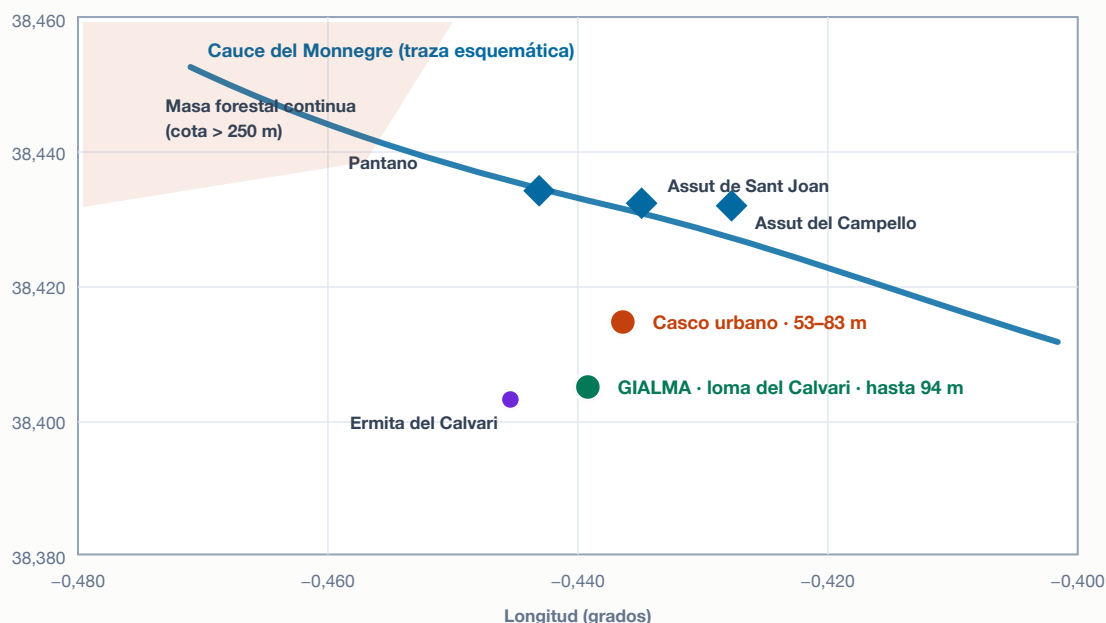


Figura 1.1 — Disposición relativa de los elementos que gobiernan el riesgo municipal. Los puntos están situados por sus coordenadas verificadas de la Tabla 1.1; la traza del cauce y la extensión de la masa forestal son esquemáticas y se dibujan sólo para dar contexto espacial. Obsérvese la relación que explica el capítulo 19: los dos azudes históricos se sitúan aguas arriba del casco urbano y a menos de dos kilómetros de él.

1.2 · La cuestión de las cotas: por qué importa tanto

En una inundación pluvial, la variable que decide quién se moja no es la distancia al cauce sino la **cota relativa**. Una parcela a doscientos metros del barranco pero veinte metros por encima de él está segura; otra a un kilómetro pero en el fondo de una vaguada, no. Esta obviedad hidráulica tiene una consecuencia práctica incómoda: la intuición popular sobre qué zonas son seguras suele estar equivocada, porque se basa en la proximidad visible al cauce.

El caso de Mutxamel lo ilustra bien. La medición sobre el modelo digital de elevaciones da los valores siguientes, que se han verificado de forma independiente.

Tabla 1.2 — Cotas verificadas sobre el modelo digital de elevaciones, en metros sobre el nivel del mar.

Ámbito	Máximo	Mediana	Mínimo	Rango
Casco urbano (radio de 1 km desde el ayuntamiento)	83 m	66 m	53 m	30 m
GIALMA / loma del Calvari	94 m	66 m	53 m	41 m

Recorrido altitudinal comparado

Metros sobre el nivel del mar · medición sobre modelo digital de elevaciones

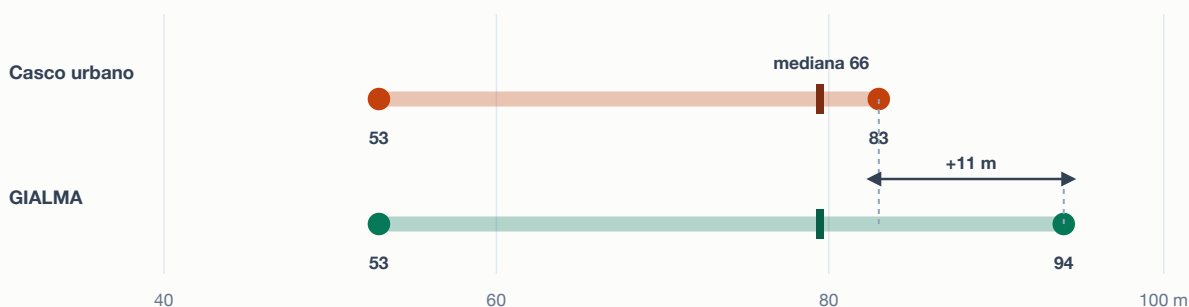


Figura 1.2 — La coronación de GIALMA supera en once metros el punto más alto del casco urbano y está unos veintiocho metros por encima de su cota mediana. Ambos ámbitos comparten mínimo y mediana porque ambos descienden hasta la misma vega; lo que los distingue es el techo. Este dato, contraintuitivo para quien conoce el municipio de vista, es el que sostiene el criterio de zona segura del capítulo 20.

1.3 · Los cuatro vectores de riesgo

Primero: la interfaz urbano-forestal

La mitad norte del término es matorral mediterráneo continuo —romeral, coscojar, pinar disperso— y las urbanizaciones se han ido introduciendo en él. Esta situación, que la literatura internacional denomina *wildland-urban interface*, concentra la práctica totalidad de las víctimas mortales en incendio forestal en Europa meridional. No arde el bosque y luego alcanza a la casa: arde el combustible que la casa tiene a diez metros.

Segundo: la vía única de salida

Varias urbanizaciones del término tienen un único acceso rodado. Cuando el frente cruza esa vía, la salida deja de existir y el problema pasa de ser de evacuación a ser de confinamiento. La diferencia entre una y otra decisión son minutos, y esos minutos sólo pueden estimarse con un modelo de propagación. El capítulo 12 desarrolla la resolución analítica que emplea la plataforma para calcularlos.

Tercero: la torrencialidad

El régimen pluviométrico del litoral alicantino es de precipitación anual escasa concentrada en episodios de intensidad extrema. La consecuencia hidrológica es que el terreno llega al episodio seco y con costra superficial, de modo que su capacidad de infiltración inicial es baja y el coeficiente de escorrentía sube muy deprisa. El capítulo 14 lo desarrolla.

Cuarto: la herencia hidráulica

El Monnegre atraviesa el término con dos azudes de los siglos XVI y XVII todavía en pie y el embalse de Tibi —de 1594, el más antiguo de Europa en servicio— aguas arriba. Es un patrimonio hidráulico excepcional y, a la vez, un condicionante de cálculo: esas estructuras retienen láminas de agua permanentes que un modelo ingeniero confunde con inundación. El capítulo 19 explica cómo se resuelve esa confusión, que costó un diagnóstico erróneo de casi trece metros de calado.

POR QUÉ ESTA CARACTERIZACIÓN VA EN UN DOSSIER DE PRESENTACIÓN

Porque la primera pregunta que hará cualquier técnico evaluador es si el modelo conoce el territorio o se limita a dibujar sobre él. Las coordenadas, las cotas y los condicionantes de este capítulo son los que el motor utiliza realmente, y son verificables uno a uno por un tercero con acceso a la misma cartografía pública.

Marco normativo aplicable

Un municipio no decide libremente cómo gestiona sus emergencias: lo hace dentro de una estructura normativa de cuatro niveles que le impone obligaciones concretas. Este capítulo las relaciona, no como formalidad sino porque cada una de ellas define un hueco funcional que la plataforma ocupa, y ese encaje es la base del Volumen VI.

2.1 · La pirámide normativa



2.2 · Normativa de inundaciones

Tabla 2.1 — Marco normativo en materia de inundaciones y su relación con la plataforma.

Norma	Contenido relevante	Relación con PREVISIO
Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo, sobre evaluación y gestión de riesgos de inundación	Obliga a los Estados a elaborar mapas de peligrosidad y de riesgo para periodos de retorno alto, medio y bajo, y planes de gestión.	La plataforma trabaja con los mismos tres periodos de retorno (T=10, T=100, T=500) que exige la transposición, de modo que sus escenarios son directamente comparables con la cartografía oficial.
Real Decreto 903/2010 , de evaluación y gestión de riesgos de inundación	Transpone la directiva. Define las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) y el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.	El módulo de consulta de parcela interroga en vivo el servicio WMS del SNCZI y superpone la mancha oficial sobre la ortofoto. No la sustituye: la muestra.
Reglamento del Dominio Público Hidráulico RD 849/1986, modificado por el RD 638/2016	Establece la vía de flujo preferente, la zona de policía y los criterios de grave riesgo para personas y bienes.	El criterio de peligrosidad implementado —producto calado por velocidad y umbrales de calado y velocidad— es el del artículo 9 del Reglamento. Capítulo 20.

Norma	Contenido relevante	Relación con PREVISIO
PATRICOVA Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana (Decreto 201/2015)	Zonifica el riesgo de inundación en seis niveles y condiciona los usos del suelo. Es de aplicación directa en el planeamiento municipal.	Marco autonómico de contraste. Toda salida del módulo hidráulico debe leerse junto a la clasificación PATRICOVA vigente, nunca en su lugar.
Instrucción 5.2-IC de drenaje superficial (Orden FOM/298/2016)	Norma técnica española para el cálculo del caudal de escorrentía. Recoge el método racional modificado y el umbral de escorrentía P_0 .	Es la norma que implementa el motor. La lluvia neta se obtiene con la formulación de Témez que la Instrucción recoge. Capítulo 16.
Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (1995)	Fija el contenido mínimo de los planes especiales y de los planes de actuación municipal.	Los informes exportables de la plataforma están estructurados para alimentar los apartados de análisis del riesgo de esos planes.

2.3 · Normativa de incendios forestales

Tabla 2.2 — Marco normativo en materia de incendios forestales.

Norma	Contenido relevante	Relación con PREVISIO
Ley 43/2003 de Montes , modificada por la Ley 21/2015	Régimen de los terrenos forestales, prevención de incendios y limitaciones tras el incendio.	Marco de referencia para la clasificación de la superficie forestal del término sobre la que actúa el módulo.
RD 893/2013 , Directriz Básica de Planificación de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales	Estructura de planes estatal, autonómicos y de actuación local. Define los índices de gravedad potencial y las situaciones operativas.	La telemetría de la plataforma —intensidad lineal, longitud de llama, actividad de copas— es la magnitud física que sustenta la asignación de índice de gravedad potencial.
Ley 3/1993 Forestal de la Comunitat Valenciana y su reglamento	Régimen forestal autonómico, zonas de alto riesgo y planes de prevención.	Encuadre de los planes locales de prevención de incendios forestales, a los que la plataforma aporta el análisis de propagación.
Plan Especial frente al Riesgo de Incendios Forestales de la Comunitat Valenciana	Organización de la respuesta autonómica, con el CECOPI como órgano de dirección.	El destinatario operativo de la plataforma es precisamente el CECOPI municipal, en su integración con la estructura autonómica.
PATFOR , Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana	Ordenación del territorio forestal valenciano y de sus servicios ambientales.	Fuente de contraste para la caracterización de la masa forestal y de los modelos de combustible del capítulo 8.
RD 393/2007 , Norma Básica de Autoprotección	Obliga a determinadas actividades y centros a disponer de plan de autoprotección.	Los informes de la plataforma pueden incorporarse como análisis de riesgo del entorno en los planes de autoprotección de centros del término.

2.4 · Normativa transversal: protección civil, datos e interoperabilidad

Tabla 2.3 — Normativa transversal aplicable.

Norma	Obligación que genera y encaje de la plataforma
Ley 17/2015 del Sistema Nacional de Protección Civil	Define el ciclo completo —anticipación, prevención, planificación, respuesta y recuperación— y crea la Red de Alerta Nacional. La plataforma actúa en anticipación, prevención y planificación, y simula el aviso a población en la fase de respuesta.
Ley 13/2010 de Protección Civil y Gestión de Emergencias de la Comunitat Valenciana	Atribuye al alcalde la dirección de los planes de ámbito local y la adopción de medidas de protección a la población. La herramienta es soporte a esa decisión, cuya responsabilidad sigue siendo íntegramente de la autoridad.
Directiva 2007/2/CE (INSPIRE) y Ley 14/2010 (LISIGE)	Obligan a que la información geográfica del sector público sea interoperable y accesible. La plataforma consume exclusivamente servicios WMS y WFS conformes con INSPIRE, lo que facilita su encaje y su auditoría.

Norma	Obligación que genera y encaje de la plataforma
Reglamento (UE) 2016/679 (RGPD) y LO 3/2018 (LOPDGDD)	Régimen de tratamiento de datos personales. El diseño de la plataforma evita el dato personal: el censo de afectados es estadístico por zona, no nominal. Capítulo 37.
RD 311/2022 , Esquema Nacional de Seguridad	Requisitos de seguridad para los sistemas de información del sector público. Determina el nivel de categorización exigible si el Ayuntamiento incorpora la plataforma a sus sistemas. Capítulos 25 y 37.
Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público	Marco de adquisición. El capítulo 38 detalla las tres vías por las que el Ayuntamiento puede incorporar la plataforma legalmente.
Ley 40/2015 de Régimen Jurídico del Sector Público	Régimen de la actuación administrativa por medios electrónicos y de la responsabilidad patrimonial. Relevante para delimitar el alcance de la responsabilidad por el uso de una herramienta de apoyo. Capítulo 37.

CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO

Ninguna de estas normas exige un simulador. Todas ellas, sin embargo, presuponen que el municipio *conoce* su riesgo, lo *cuantifica* y planifica en consecuencia. La diferencia entre cumplir formalmente ese presupuesto —con una memoria descriptiva— y cumplirlo materialmente —con capacidad de cálculo propia— es exactamente lo que aporta esta plataforma.

Qué cambia en la gestión de la emergencia

Este capítulo describe, sin metáforas, el cambio operativo. La columna de la izquierda es el procedimiento actual de un municipio de este tamaño; la de la derecha, el mismo procedimiento con la plataforma en la sala.

Tabla 3.1 — Matriz comparativa de la gestión de un episodio, fase por fase.

Fase del episodio	Procedimiento actual	Con la plataforma
Aviso inicial	Llamada al 112 o aviso vecinal. La localización llega como descripción verbal: «detrás de la urbanización tal».	El foco se sitúa con un clic sobre ortofoto, con coordenadas exactas. Si procede de detección satelital, aparece ya posicionado.
Dimensionado	Estimación por experiencia del jefe de guardia. Sin cifra de superficie ni de velocidad de avance.	Superficie afectada, velocidad de propagación, intensidad lineal y longitud de llama en cifra, actualizadas minuto a minuto de simulación.
Previsión	No existe de forma cuantitativa. Se razona sobre la dirección del viento y el plano.	Perímetro previsto a 30, 60, 120 y 240 minutos, con la rotación del frente según el viento real de cada intervalo.
Decisión de evacuar	Se toma por proximidad aparente y por prudencia. Tiende a la sobrereacción o a la tardanza, según el mando.	Tiempo estimado de llegada del frente a cada núcleo concreto, resuelto en la dirección de ese núcleo, no como radio medio.
Elección de la ruta	La vía habitual. Si está cortada, se descubre al llegar.	Ruta calculada que evita el polígono activo del incendio, con la alternativa de menor exposición si no queda ninguna limpia.
Aviso a la población	Megafonía, redes sociales, boca a boca. Mensaje redactado sobre la marcha.	Doce órdenes operativas preparadas, mensaje de aviso masivo tipo ES-Alert, y asistente que responde al vecino en castellano y en valenciano.
Registro del episodio	Parte redactado después, de memoria y con notas sueltas.	Escenario guardado con todos sus parámetros, e informes en PDF generados en el momento.
Análisis posterior	Reunión de valoración sin material cuantitativo.	Reproducción del episodio a velocidad acelerada, con posibilidad de ensayar decisiones alternativas sobre el mismo escenario.

3.1 · La magnitud que realmente cambia: el tiempo hasta la primera cifra

De todo lo anterior, la variable crítica es una sola: **cuánto tarda el mando en disponer de una estimación numérica** del alcance. Hoy, si se solicita un análisis a un equipo técnico externo, la respuesta llega en horas o al día siguiente. La plataforma la da en menos de un minuto, sobre el terreno real y con los parámetros meteorológicos del momento.

La objeción legítima es evidente: una estimación en un minuto es menos precisa que un estudio de tres días. Es cierto, y por eso el Volumen V declara la incertidumbre. Pero la comparación pertinente no es entre una estimación rápida y un estudio riguroso: es **entre una estimación rápida y ninguna estimación**, que es lo que hay a las tres de la madrugada de un domingo de agosto.

Impacto económico, coste evitado y retorno de la inversión

ADVERTENCIA METODOLÓGICA PREVIA

Las cifras de este capítulo son **estimaciones de orden de magnitud**, no valoraciones periciales. Se construyen sobre valores unitarios de referencia pública y sobre hipótesis que se declaran de forma expresa en cada caso. Su función es dimensionar la decisión, no cuantificar un daño concreto. Cualquier uso en un expediente económico requeriría una valoración específica.

4.1 · La estructura del coste de una emergencia

El coste de un episodio no es únicamente el del daño material directo. Se descompone, al menos, en cinco partidas, y la capacidad de anticipación actúa de forma muy desigual sobre cada una.

Tabla 4.1 — Descomposición del coste de un episodio y efecto de la anticipación.

Partida	Contenido	Efecto de disponer de previsión cuantitativa
Daño directo	Edificación, vehículos, cultivos, infraestructura municipal.	Moderado. La anticipación permite retirar bienes móviles y proteger puntos concretos, pero no evita el daño estructural.
Coste de intervención	Medios propios y ajenos movilizados, horas extraordinarias, medios aéreos.	Alto. Dimensionar bien el dispositivo desde el principio evita tanto la infradotación —que alarga el episodio— como la movilización excesiva.
Coste de evacuación	Alojamiento, manutención, transporte, atención a personas dependientes.	Muy alto. Una evacuación innecesaria de una urbanización completa tiene un coste cierto; una tardía tiene un coste humano.
Interrupción de actividad	Comercio cerrado, viario cortado, centros educativos suspendidos.	Alto. Reabrir con criterio requiere saber dónde ha dejado de haber peligro, no sólo dónde lo hubo.
Coste de recuperación	Limpieza, reposición de servicios, tramitación de ayudas.	Moderado. El registro cuantitativo del episodio acelera notablemente la justificación documental de las ayudas.

4.2 · Escenarios de coste evitado

Se plantean tres escenarios de referencia, con sus hipótesis explícitas. Todos ellos se refieren a **un solo episodio**.

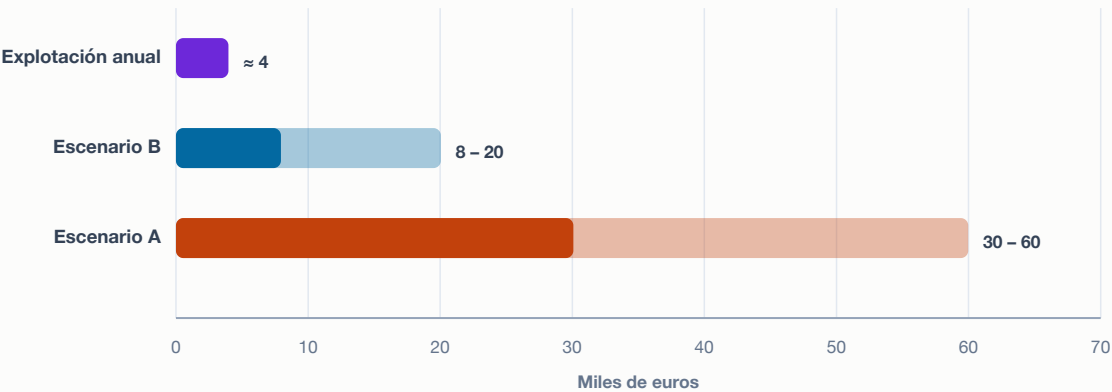
Tabla 4.2 — Escenarios de coste evitado, con hipótesis declaradas.

Escenario	Hipótesis	Orden de magnitud	Confianza
A · Evacuación preventiva innecesaria evitada	Se evita evacuar una urbanización de 250 viviendas que la simulación demuestra fuera del alcance del frente en el horizonte de la emergencia. Coste unitario de referencia: alojamiento y manutención de 24 h para unas 600 personas, más transporte y dispositivo policial.	30.000 – 60.000 €	Media
B · Dimensionado correcto del dispositivo	Se evita la solicitud de un medio aéreo adicional durante media jornada por disponer de previsión de comportamiento en las horas siguientes	8.000 – 20.000 €	Baja

Escenario	Hipótesis	Orden de magnitud	Confianza
C · Anticipación de la protección de un punto crítico	Se protege con antelación un centro sensible —residencia, centro escolar, subestación— identificado por la simulación como alcanzable en menos de 90 minutos.	No cuantificable	—

Orden de magnitud: coste anual de la plataforma frente a coste evitado en un episodio

Miles de euros · las barras de coste evitado representan el rango de los escenarios A y B de la Tabla 4.2



El tramo sólido marca el extremo inferior del rango; el tramo claro, el superior.

Figura 4.1 — El argumento económico no depende de acertar la cifra exacta. Depende de que el coste de explotación anual sea de un orden de magnitud inferior al coste evitado de un único episodio, lo que se cumple con holgura incluso tomando el extremo más conservador de cada rango. Las cifras son estimaciones declaradas, no valoraciones periciales.

4.3 · La partida que no aparece en la tabla

Existe un beneficio económico que no se ha incluido en los escenarios porque es imposible de cuantificar con honestidad, y conviene decirlo en lugar de convertirlo en una cifra inventada: la **reducción del riesgo de responsabilidad patrimonial del Ayuntamiento**. Cuando una administración adopta una decisión de protección civil, la diligencia exigible se valora, entre otras cosas, por los medios de análisis de que disponía. Haber empleado una herramienta que aplica los modelos técnicos de referencia y haber conservado el registro del análisis es, en sí mismo, un elemento de defensa. No se pone precio a eso aquí, pero se señala.

4.4 · Estructura de costes de la plataforma

Tabla 4.3 — Estructura de costes recurrentes.

Concepto	Periodicidad	Observación
Licencias de software de terceros	—	0 € · toda la pila tecnológica es libre o de desarrollo propio
Licencias de datos cartográficos	—	0 € · IGN, Catastro, MITECO, AEMET y NASA operan bajo licencias abiertas
Alojamiento y dominio	Anual	Servidor europeo con certificado TLS. Coste de orden de unos cientos de euros anuales
Servicio de asistente conversacional	Por consumo	Único coste variable, proporcional al uso real del chat
Mantenimiento evolutivo y correctivo	Anual	Objeto del contrato de servicio. Capítulo 38
Formación del personal municipal	Puntual	Capítulo 40

Comparativa técnica con los sistemas de referencia

La pregunta razonable de un técnico es por qué no se emplean directamente las herramientas consolidadas. La respuesta es que **no compiten con esta plataforma: resuelven un problema distinto**. Este capítulo lo demuestra comparándolas en las dimensiones que importan a un ayuntamiento.

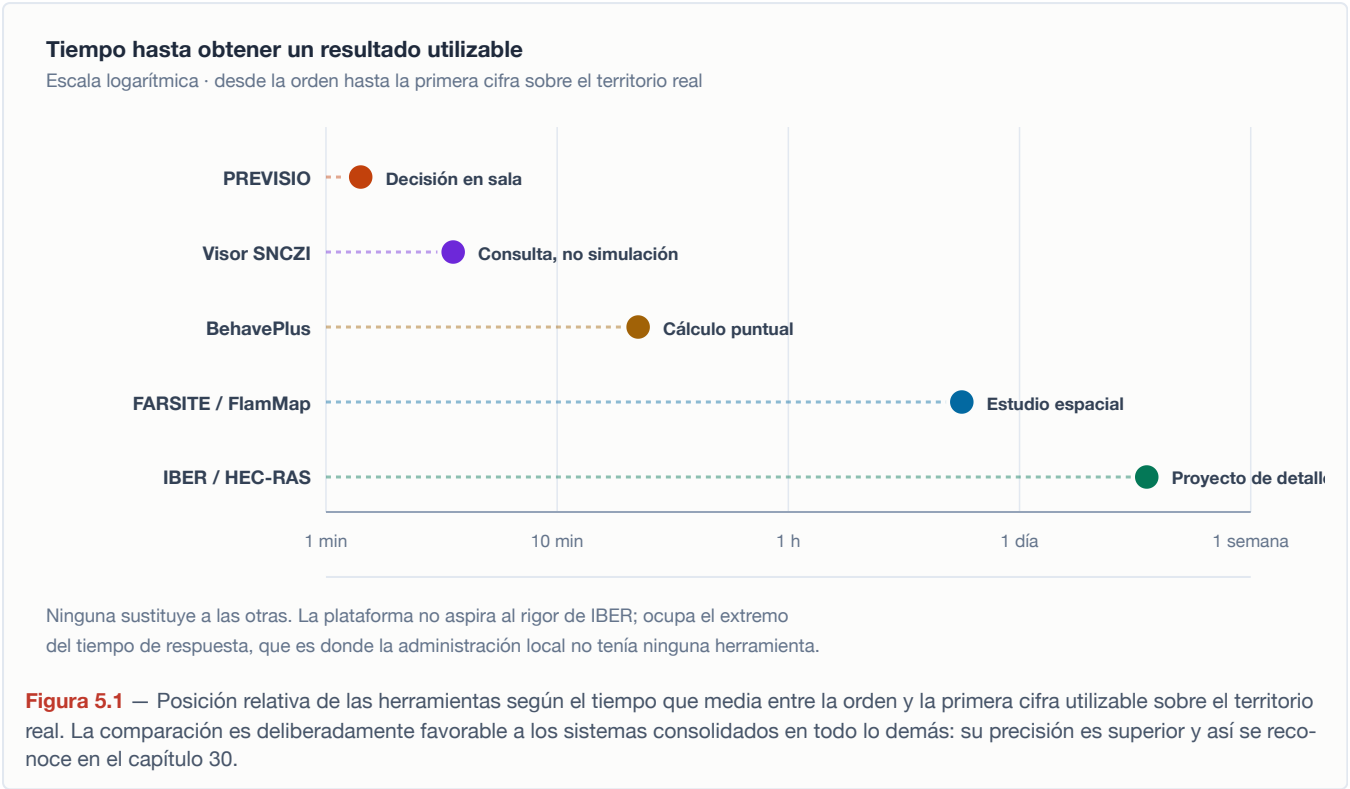
5.1 · Las herramientas de referencia

Tabla 5.1 — Sistemas de referencia en simulación de incendio e inundación.

Sistema	Origen	Qué resuelve	Por qué no cubre la necesidad municipal
BehavePlus	USDA Forest Service	Comportamiento del fuego en un punto: velocidad, intensidad, longitud de llama.	Es puntual, no espacial. No propaga un perímetro sobre el territorio ni calcula tiempos de llegada.
FARSITE / FlamMap	USDA Forest Service	Propagación espacial completa del incendio sobre capas raster de combustible y topografía.	Requiere capas de combustible preparadas, formación específica y trabajo de escritorio. No es utilizable por un mando en sala durante un episodio.
IBER	CIMNE · Universidade da Coruña · CEDEX	Hidráulica bidimensional con ecuaciones de aguas someras completas, mediante volúmenes finitos.	Es la referencia para estudio de detalle, y su nivel de rigor es superior. Un caso exige preparación de malla y horas de cálculo: sirve para proyectar una obra, no para decidir a las tres de la madrugada.
HEC-RAS	US Army Corps of Engineers	Hidráulica fluvial uni y bidimensional, régimen permanente y variable.	Orientado al cauce y a la lámina fluvial. La inundación pluvial urbana difusa no es su caso natural, y comparte la barrera de preparación de IBER.
Visor SNCZI	MITECO	Consulta de la cartografía oficial de zonas inundables.	Es consulta, no simulación. Muestra el resultado oficial de un estudio previo; no permite ensayar un episodio ni una obra.

5.2 · El hueco que ocupa Previsio

Las herramientas anteriores se sitúan todas en el mismo extremo: **máximo rigor, máxima preparación, máximo tiempo**. Son irremplazables para redactar un proyecto. El extremo opuesto —el de la decisión inmediata— está hoy vacío, y se cubre con la experiencia del mando y un plano.



5.3 · Comparación funcional detallada

Tabla 5.2 — Matriz funcional. El signo «—» indica que la función no está en el ámbito de la herramienta, no que sea una carencia.

Función	PREVISIO	FARSITE / FlamMap	IBER / HEC-RAS	Visor SNCZI
Resuelve Rothermel completo	Sí	Sí	—	—
Resuelve aguas someras completas	No · onda difusiva	—	Sí	—
Funciona en navegador sin instalación	Sí	No	No	Sí
Operable sin formación especializada	Sí	No	No	Sí
Datos meteorológicos en vivo	Sí	No	No	—
Detección satelital de focos	Sí	No	—	—
Cálculo de ruta de evacuación	Sí	No	No	—
Tiempo de llegada a un punto concreto	Sí	Indirecto	Indirecto	—
Censo estimado de población afectada	Sí	No	No	No
Informes en PDF listos para expediente	Sí	No	No	Parcial
Comparación de escenarios de obra	Sí	—	Sí	No
Precisión apta para proyecto constructivo	No	—	Sí	—
Validez administrativa oficial	No	No	Sí	Sí

5.4 · Contraste operativo con los sistemas en uso por las administraciones

La Tabla 5.2 compara funcionalidades. Esta otra compara el modo de trabajo, que es lo que percibe quien tiene que usar la herramienta durante un episodio.

Tabla 5.3 — Contraste del modo de operación frente a los sistemas de simulación empleados habitualmente por administraciones y servicios de emergencia.

Criterio	Sistemas de referencia actuales	PREVISIO
Rendimiento e interfaz	Orientados a gabinete técnico. Requieren estación de trabajo de escritorio y preparación previa del caso.	Ejecución interactiva en cualquier navegador o tableta, sin instalar nada.
Asimilación satelital	Importación manual periódica de ficheros por personal cualificado en sistemas de información geográfica.	Consulta en vivo a los servicios de datos abiertos y situación automática de los focos térmicos sobre la cartografía.
Respuesta a un giro del viento	Elipses que rotan en bloque, arrastrando consigo la huella del quemado previo.	Propagación incremental: la cicatriz permanece en sus coordenadas reales y sólo el frente activo cambia de dirección. Figura 11.2.
Telemetría pluvial y de cuenca	Simuladores de cuenca sin integración con la emergencia urbana ni lectura de lluvia acumulada en vivo.	Lectura conjunta de lluvia caída y total, caudal del cauce y censo de afectados por núcleos.
Informes oficiales	Redacción manual posterior del parte de emergencia, con capturas de pantalla sueltas.	Nueve informes en PDF exportables en un clic, con el estado de la simulación en curso. Capítulo 41.
Coste de licencias	Licencias privativas por puesto de trabajo técnico, con importes de varios órdenes de magnitud superiores.	0 € en licencias: desarrollado íntegramente sobre datos abiertos oficiales.
Exactitud del modelo	Superior. Aguas someras completas, mallado de detalle, capas de combustible cartografiadas.	Inferior, y declarada. Onda difusiva, malla gruesa y asignación zonal de combustible. Capítulo 30.

La última fila se incluye deliberadamente. Una tabla comparativa en la que una de las columnas gana en todas las filas no es una comparación: es publicidad, y un evaluador técnico la lee como tal.

LAS DOS ÚLTIMAS FILAS DE LA TABLA 5.2 SON LAS IMPORTANTES

Un dossier honesto debe terminar su comparativa reconociendo dónde pierde. Esta plataforma **no** tiene precisión de proyecto constructivo y **no** tiene validez administrativa oficial. Lo primero es una limitación de modelo, explicada en el capítulo 30. Lo segundo es un procedimiento administrativo pendiente, que es exactamente el objeto del Volumen VI.

VOLUMEN II

Fundamentos físicos del módulo de incendios

Deducción completa de las ecuaciones que resuelve el simulador, término a término, con sus coeficientes, sus unidades, sus límites de validez y el análisis de sensibilidad de cada variable.

Capítulo 6. Física del fuego forestal: del balance de energía al frente de llama

Capítulo 7. El modelo de Rothermel, término a término

Capítulo 8. Modelos de combustible y su correspondencia con la vegetación de Mutxamel

Capítulo 9. Humedad del combustible: el mecanismo que gobierna la ignición

Capítulo 10. Intensidad, longitud de llama y paso a fuego de copas

Capítulo 11. Geometría del perímetro: la elipse de Alexander y la propagación de Huygens

Capítulo 12. Tiempo de evacuación direccional: resolución analítica

Capítulo 13. Análisis de sensibilidad del motor de incendios

Física del fuego forestal

Antes de escribir una sola ecuación conviene fijar qué es exactamente lo que se modela. Un incendio forestal no es una reacción química que se propaga: es un **frente de combustión que avanza porque calienta el combustible que tiene delante hasta llevarlo a su temperatura de ignición**. Todo lo demás —el viento, la pendiente, la humedad, la carga— actúa modificando la eficiencia con que ese calor se transfiere. Comprender esto es comprender por qué el modelo tiene la forma que tiene.

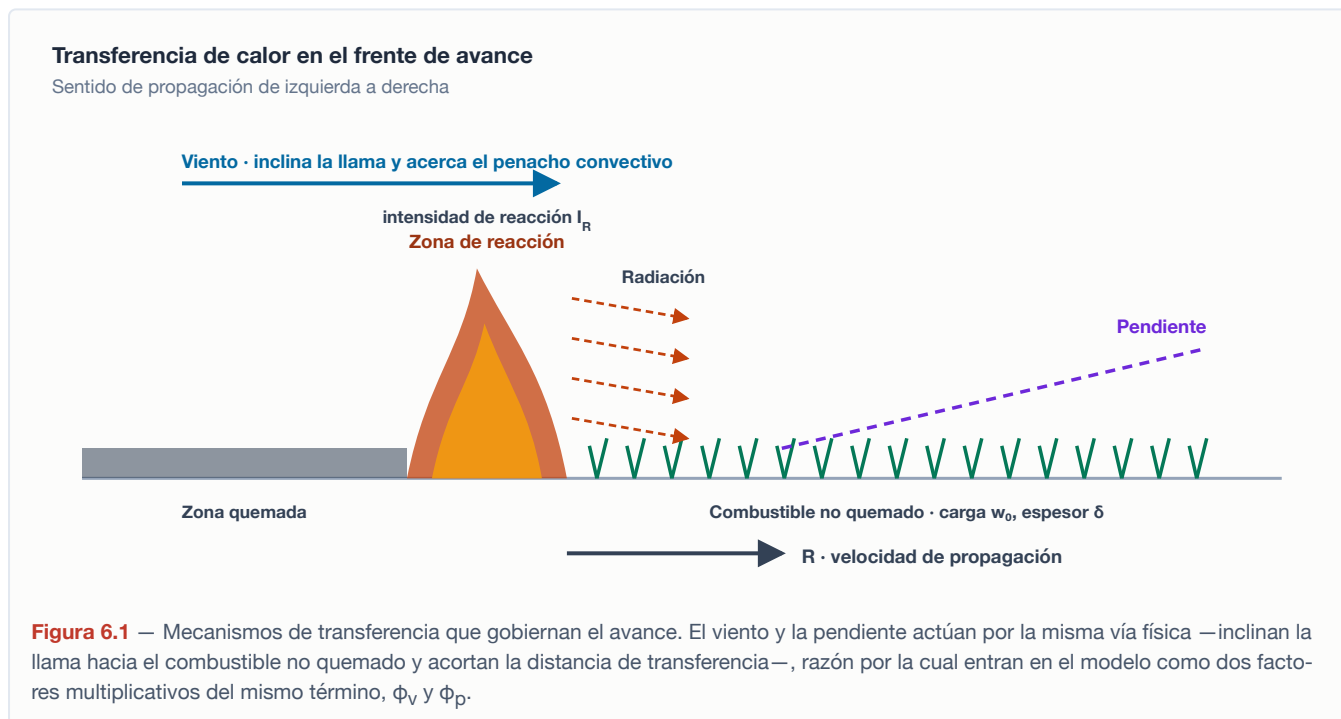
6.1 · El balance de energía del frente

Considérese una lámina vertical que atraviesa el frente de llamas y avanza con él. En régimen estacionario, la energía que esa lámina entrega al combustible situado inmediatamente delante debe igualar a la energía que ese combustible necesita para alcanzar la ignición. De esa igualdad sale directamente la velocidad de avance.

$$R = (\text{calor recibido por unidad de superficie y tiempo}) / (\text{calor necesario por unidad de volumen}) \quad (6.1)$$

Forma conceptual del balance. Toda la dificultad del modelo está en evaluar numerador y denominador.

El numerador es el **flujo de propagación**: la fracción de la energía liberada en la zona de reacción que efectivamente llega, por radiación y por convección, al combustible no quemado. El denominador es el **calor de preignición** multiplicado por la masa de combustible que hay que calentar por unidad de volumen. Rothermel construyó su modelo evaluando ambos experimentalmente en túnel de viento sobre lechos de combustible artificiales, y ajustando funciones empíricas a los resultados.



6.2 · Las cuatro magnitudes que describen un incendio

Todo el vocabulario operativo del fuego se reduce a cuatro números. La plataforma los calcula todos y los muestra en su panel de telemetría.

Tabla 6.1 — Magnitudes fundamentales del comportamiento del fuego.

Magnitud	Símbolo	Unidad	Significado operativo
Velocidad de propagación	R	m/min	Cuánto avanza la cabeza del incendio. Es la magnitud que gobierna el tiempo disponible para evacuar.
Intensidad lineal	I_B	kW/m	Energía liberada por metro de frente y segundo. Decide si el ataque directo es posible.
Longitud de llama	L_f	m	Traducción visual de la intensidad. Es lo que ve el jefe de sector y la referencia de sus protocolos.
Calor por unidad de área	H_A	kJ/m ²	Energía total entregada al pasar el frente. Determina la severidad sobre el suelo y la vegetación.

La relación entre intensidad y posibilidad de ataque

La correspondencia entre longitud de llama y capacidad de intervención está normalizada en la práctica internacional y es la que traduce el número en decisión.

Tabla 6.2 — Interpretación operativa de la longitud de llama.

Longitud de llama	Intensidad equivalente	Capacidad de intervención
< 1,2 m	< 350 kW/m	Ataque directo con herramienta manual. Personal a pie sobre la línea.
1,2 – 2,4 m	350 – 1.700 kW/m	Ataque directo con maquinaria pesada y medios aéreos. La herramienta manual ya no es segura en cabeza.
2,4 – 3,4 m	1.700 – 3.500 kW/m	Ataque directo en cabeza probablemente inviable. Se pasa a flancos y a línea de defensa.
> 3,4 m	> 3.500 kW/m	Comportamiento extremo: focos secundarios, actividad de copas, columna convectiva. Sólo maniobra indirecta.

Las intensidades equivalentes se han obtenido invirtiendo la relación de Byram $L = 0,0775 \cdot I^{0,46}$ con el mismo código que emplea el simulador.

El modelo de Rothermel, término a término

Este capítulo desarrolla la ecuación que constituye el núcleo del módulo de incendios. Se presenta en el orden en que la calcula el código, y cada término se explica con su función física, su formulación y el valor que toma en los combustibles de Mutxamel.

7.1 • La ecuación completa

$$R = \frac{I_R \cdot \xi \cdot (1 + \varphi_v + \varphi_p)}{\rho_b \cdot \varepsilon \cdot Q_{ig}} \tag{7.1}$$

Rothermel (1972), propagación de fuego de superficie. Resultado en pies/minuto; el motor lo convierte a m/min multiplicando por 0,3048.

El numerador contiene la energía disponible; el denominador, la energía requerida. Los tres factores del numerador son, respectivamente, cuánta energía libera la reacción, qué proporción de ella alcanza al combustible vecino, y en cuánto multiplican esa proporción el viento y la pendiente. Los tres del denominador son cuánta masa hay que calentar, qué fracción de ella participa realmente, y cuánto calor exige cada unidad de masa.

Tabla 7.1 — Los seis términos de la ecuación (7.1).

Término	Nombre	Unidad	Papel físico
I_R	Intensidad de reacción	Btu·pie ⁻² ·min ⁻¹	Energía liberada por unidad de superficie de lecho y tiempo en la zona de reacción.
ξ	Cociente de flujo de propagación	adimensional	Fracción de I_R que llega al combustible no quemado. Depende de la geometría del lecho.
φ_v	Factor de viento	adimensional	Incremento del flujo por inclinación de la llama y arrastre convectivo.
φ_p	Factor de pendiente	adimensional	Incremento del flujo por proximidad geométrica del combustible cuesta arriba.
ρ_b	Densidad aparente del lecho	lb·pie ⁻³	Masa de combustible por unidad de volumen del lecho.
ε	Número de calentamiento efectivo	adimensional	Fracción de la partícula que se calienta hasta la ignición. Las partículas gruesas apenas participan.
Q_{ig}	Calor de preignición	Btu·lb ⁻¹	Energía necesaria para llevar una libra de combustible a la ignición, incluida la evaporación del agua.

SOBRE LAS UNIDADES IMPERIALES

El cálculo interno se realiza en el sistema imperial —pies, libras, Btu— porque así están publicados y calibrados los coeficientes originales de Rothermel. Convertir los coeficientes al sistema internacional introduciría errores de redondeo sin ninguna ventaja. La aplicación recibe y devuelve unidades SI, y la conversión se hace en la frontera de la función, con los factores exactos: 1 pie = 0,3048 m, 1 kg·m⁻² = 0,204816 lb·pie⁻², 1 m·s⁻¹ = 196,850 pie·min⁻¹. Es la misma práctica que siguen BehavePlus y FARSITE.

7.2 • Geometría del lecho: razón de empaquetamiento

El primer paso es describir cómo está dispuesto el combustible. Dos lechos con la misma carga se comportan de forma completamente distinta según estén sueltos o compactados, porque de ello depende si el aire puede

circular entre las partículas.

$$\rho_b = w_o / \delta \cdot \beta = \rho_b / \rho_p \cdot \beta_{op} = 3,348 \cdot \sigma^{-0,8189} \quad (7.2)$$

Densidad aparente, razón de empaquetamiento y razón óptima. $\rho_p = 32 \text{ lb/pie}^3$ es la densidad de la partícula de madera seca.

La **razón de empaquetamiento óptima** β_{op} es el valor para el que la reacción es máxima: hay bastante combustible para sostener la llama y bastante aire para alimentarla. El cociente β/β_{op} mide lo lejos que está el lecho real de esa situación ideal, y es el argumento de la función de intensidad de reacción.

7.3 · Intensidad de reacción

$$I_R = \Gamma' \cdot h \cdot \eta_S \cdot (w_{n,muerto} \cdot \eta_{M,muerto} + w_{n,vivo} \cdot \eta_{M,vivo}) \quad (7.3)$$

$h = 8.000 \text{ Btu/lb}$, poder calorífico. $\eta_S = 0,4173$, coeficiente de amortiguación mineral. $w_n = w_o \cdot (1 - S_T)$ con $S_T = 0,0555$ de contenido mineral total.

La **velocidad de reacción óptima** Γ' es una función campaniforme del empaquetamiento, y la que introduce en el modelo el hecho de que un lecho demasiado suelto o demasiado compacto arde peor que uno intermedio.

$$\Gamma' = \Gamma'_{\text{máx}} \cdot (\beta/\beta_{op})^A \cdot e^{A(1 - \beta/\beta_{op})} \quad \text{con} \quad \Gamma'_{\text{máx}} = \sigma^{1,5} / (495 + 0,0594 \cdot \sigma^{1,5}), \quad A = 133 \cdot \sigma^{-0,7913} \quad (7.4)$$

σ es la relación superficie/volumen de la partícula, en pie^{-1} . Es el parámetro que más influye en todo el modelo.

7.4 · Amortiguación por humedad

La humedad no se limita a robar energía para evaporarse: **degrada la propia reacción**. Rothermel lo recoge con un polinomio de tercer grado en la humedad relativa a la de extinción.

$$\eta_M = 1 - 2,59 \cdot r_M + 5,11 \cdot r_M^2 - 3,52 \cdot r_M^3 \quad \text{con} \quad r_M = \min(M_f/M_x, 1) \quad (7.5)$$

M_f es la humedad del combustible; M_x su humedad de extinción. Cuando M_f alcanza M_x , $\eta_M = 0$ y la propagación cesa.

Coeficiente de amortiguación por humedad

Ecuación (7.5) · el eje horizontal es la humedad del combustible como porcentaje de su humedad de extinción

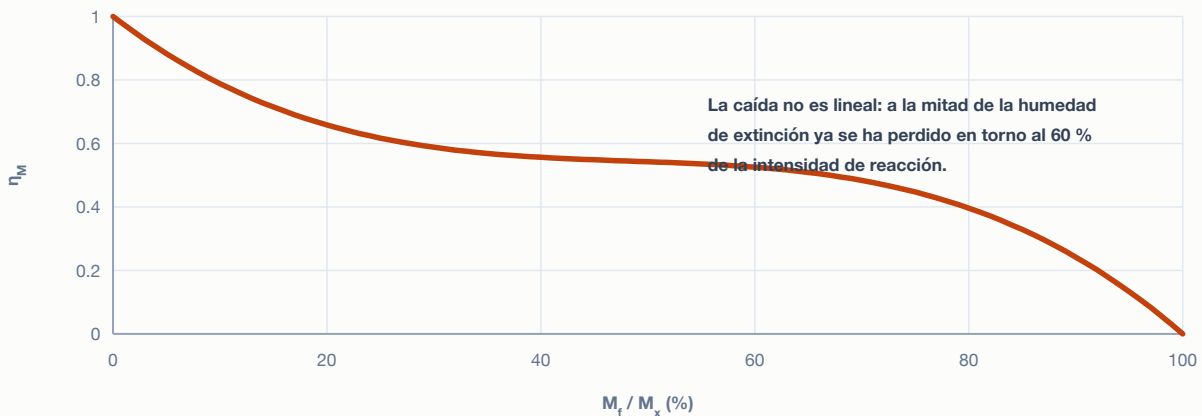


Figura 7.i — Curva de amortiguación por humedad calculada con la ecuación implementada. Su forma explica un comportamiento que desconcierta al observador no técnico: un incremento pequeño de humedad relativa al caer la tarde puede detener un incendio que parecía imparable, porque el combustible fino cruza el codo de esta curva.

7.5 · Flujo de propagación

$$\xi = e^{(0,792 + 0,681 \cdot \sqrt{\sigma}) \cdot (\beta + 0,1)} / (192 + 0,2595 \cdot \sigma) \quad (7.6)$$

Fracción de la energía de reacción que alcanza al combustible no quemado. Sólo depende de la geometría del lecho, no de las condiciones ambientales.

7.6 · Factores de viento y de pendiente

Son los dos términos que el mando modifica en la práctica y los que producen las variaciones más espectaculares del resultado. Ambos actúan sobre el mismo mecanismo —acercar la llama al combustible— y por eso se suman dentro del mismo paréntesis.

$$\varphi_v = C \cdot U^B \cdot (\beta/\beta_{op})^{-E} \quad (7.7)$$

$C = 7,47 \cdot e^{-0,133 \cdot \sigma^{0,55}}$; $B = 0,02526 \cdot \sigma^{0,54}$; $E = 0,715 \cdot e^{-0,000359 \cdot \sigma}$. U es el viento a media llama, en pies/minuto.

$$\varphi_p = 5,275 \cdot \beta^{-0,3} \cdot \tan^2 \phi \quad (7.8)$$

ϕ es el ángulo de la pendiente. El motor recibe la pendiente en tanto por ciento y la emplea directamente como tangente.

El límite de viento efectivo

La ecuación (7.7) crece indefinidamente con el viento, y eso es físicamente falso: por encima de cierta velocidad el viento deja de aportar y empieza a estirar y desorganizar la llama. Rothermel estableció un límite, y el motor lo aplica, señalando además en la telemetría cuándo está actuando.

$$U_{ef} = \min(U, 0,9 \cdot I_R) \quad (7.9)$$

Por encima de este umbral el modelo pierde validez y la propagación deja de crecer con el viento.

POR QUÉ ESTO IMPORTA EN UN DOSSIER INSTITUCIONAL

Un simulador que no aplicase el límite de viento efectivo produciría, con vientos de temporal, velocidades de propagación absurdas —cientos de metros por minuto— que impresionan en una demostración y destruyen la credibilidad ante un técnico. La plataforma aplica el límite y lo declara: cuando la telemetría muestra el aviso de viento limitado, está informando de que se ha alcanzado la frontera de validez del modelo, no de que el fuego se haya detenido.

7.7 · El viento que entra en la ecuación no es el que mide la estación

Un detalle que separa una implementación seria de una aproximación. El viento que publican las estaciones meteorológicas y los servicios satelitales está medido a **diez metros de altura**. El que interviene en la propagación es el que sopla a la altura de la llama, dentro o justo encima del lecho de combustible, y es mucho menor. La conversión sigue el perfil logarítmico de Albini y Baughman (1979).

$$WAF = \frac{1,83}{\ln[(20 + 0,36 \cdot \delta) / (0,13 \cdot \delta)]} \div 1,15 \quad (7.10)$$

δ es el espesor del lecho en pies. El divisor 1,15 traslada la referencia de 20 pies —la del modelo americano— a los 10 metros PREVISIO · Dossier Técnico · MP-3.7-331e9102 · emitido el 6 de septiembre de 2026 · PREVISIO v 1.0 · Creada por INTELLIGENTIA.dev de la práctica europea.

Tabla 7.2 — Factor de ajuste del viento para los combustibles de Mutxamel, calculado con la ecuación (7.10).

Modelo de combustible	Espesor del lecho δ	WAF	Viento a 10 m de 30 km/h equivale a
Matorral denso de monte M6	0,762 m	0,382	11,5 km/h en la llama
Matorral bajo / romeral M5	0,610 m	0,364	10,9 km/h en la llama
Pastizal fino y erial M1	0,305 m	0,315	9,4 km/h en la llama
Huerta regada y cultivo AGR	0,250 m	0,303	9,1 km/h en la llama

Obsérvese la magnitud de la corrección: en pastizal fino, un viento de 30 km/h medido a 10 m actúa sobre la llama como unos 9 km/h. Ignorar este factor —error frecuente en implementaciones apresuradas— sobreestima gravemente la propagación.

7.8 · Valores que toman los términos en Mutxamel

La tabla siguiente evalúa la ecuación completa para los cuatro combustibles del término, en condiciones de verano severo pero no extremo: viento de 6 m/s, humedad del combustible muerto del 8 %, foliar viva del 90 % y pendiente del 20 %.

Tabla 7.3 — Evaluación completa de la ecuación (7.1) por modelo de combustible. Viento 6 m/s · M_{muerto} 8 % · M_{vivo} 90 % · pendiente 20 %.

Término	M6	M5	M1	AGR
σ · superficie/volumen (pie^{-1})	1.750	2.000	3.500	2.743
β · empaquetamiento	0,0017	0,0022	0,0011	0,0016
β_{op} · óptimo	0,0074	0,0066	0,0042	0,0051
β/β_{op}	0,23	0,32	0,25	0,31
I_R · intensidad de reacción	2.900	1.072	763	329
ξ · flujo de propagación	0,0304	0,0342	0,0577	0,0449
φ_v · factor de viento	24,34	19,83	15,13	10,07
φ_p · factor de pendiente	1,42	1,33	1,65	1,46
ε · calentamiento efectivo	0,9242	0,9333	0,9613	0,9509
Q_{ig} · calor de preignición	339	339	339	339
R · velocidad (m/min)	41,7	11,4	21,6	3,5
I_B · intensidad (kW/m)	5.018	443	341	30
L_f · longitud de llama (m)	3,90	1,28	1,13	0,37

Todos los valores de esta tabla se han calculado ejecutando la misma implementación que el simulador; no se han transcrito a mano. La diferencia de un factor doce entre el matorral denso de monte y la huerta regada no es un artificio: es la razón por la que la mitad norte del término concentra el riesgo.

Modelos de combustible

Un modelo de combustible es un conjunto de parámetros que describe numéricamente un tipo de vegetación a efectos de propagación del fuego. Sin él, la ecuación de Rothermel no puede evaluarse.

8.1 · Los parámetros que definen un combustible

Tabla 8.1 — Parámetros que definen un modelo de combustible.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Qué representa y por qué influye
Carga muerta fina	w_0	kg/m²	Masa de combustible muerto de diámetro fino por unidad de superficie. Es el que arde y el que propaga.
Carga viva	$w_{0,vivo}$	kg/m²	Masa de material vegetal vivo. Sólo participa cuando el muerto está suficientemente seco.
Espesor del lecho	δ	m	Altura de la capa de combustible. Determina el empaquetamiento y el factor de ajuste del viento.
Superficie/volumen	σ	m ⁻¹	Finura de la partícula. Una brizna de hierba tiene muchísima más superficie por unidad de masa que una rama, y por eso se enciende antes.
Humedad de extinción	M_x	fracción	Humedad por encima de la cual el combustible deja de propagar fuego.
Altura base de copas	CBH	m	Distancia del suelo a la primera rama viva. Gobierna el paso a fuego de copas (capítulo 10).

8.2 · Los cuatro modelos implementados

Se han seleccionado los modelos NFFL de Anderson (1982) —los mismos que adopta la clasificación española UPM-ICONA— que corresponden a la vegetación real del término. Los valores son los que declara el código, sin ajuste alguno.

Tabla 8.2 — Modelos de combustible implementados, con sus parámetros exactos.

Clave	Vegetación de Mutxamel	w_0	$w_{0,vivo}$	δ	σ	M_x	CBH
M6	Matorral denso de monte	0,336	0,336	0,762 m	5.741	25 %	4,0 m
M5	Matorral bajo / romeral	0,224	0,448	0,610 m	6.562	20 %	6,0 m
M1	Pastizal fino y erial	0,166	—	0,305 m	11.483	12 %	9,0 m
AGR	Huerta regada y cultivo	0,067	0,135	0,250 m	9.000	15 %	12,0 m

Cargas en kg/m², relación superficie/volumen en m⁻¹. Los valores originales están tabulados en toneladas por acre; la conversión aplicada es 1 t/acre = 0,2242 kg/m².

8.3 · Asignación territorial

El motor asigna a cada punto del término el modelo que le corresponde según su situación geográfica, con el criterio siguiente:

Tabla 8.3 — Criterio de asignación del modelo de combustible por zona.

Zona del término	Criterio geográfico	Modelo asignado
Masa forestal de Monte Canya	lat > 38,43 y lng < -0,42	M6 — matorral denso de monte
Matorral de transición	lat > 38,42 y lng < -0,43	M5 — matorral bajo y romeral
Ladera norte	lat > 38,44	M5 — matorral bajo y romeral
Huerta, cultivos y casco urbano	resto del término	AGR — huerta regada y cultivo

LIMITACIÓN DECLARADA

Esta asignación es **zonal por umbrales geográficos, no cartográfica celda a celda**. Un modelo de propagación de referencia como FARSITE trabaja con una capa raster de combustible derivada de fotointerpretación o de teledetección. La sustitución de este criterio por una capa raster procedente del SIOSE o del Inventario Forestal Nacional es la mejora de mayor impacto identificada, y figura como tal en el capítulo 30 y en la hoja de ruta. Se declara aquí porque un evaluador lo detectaría de inmediato y porque su efecto sobre el resultado es apreciable en los bordes de zona.

8.4 · Comparación del comportamiento entre modelos

Nomograma de propagación: velocidad frente a viento, por modelo de combustible

Calculado con la ecuación (7.1) · humedad muerta 8 % · foliar viva 90 % · pendiente 20 %

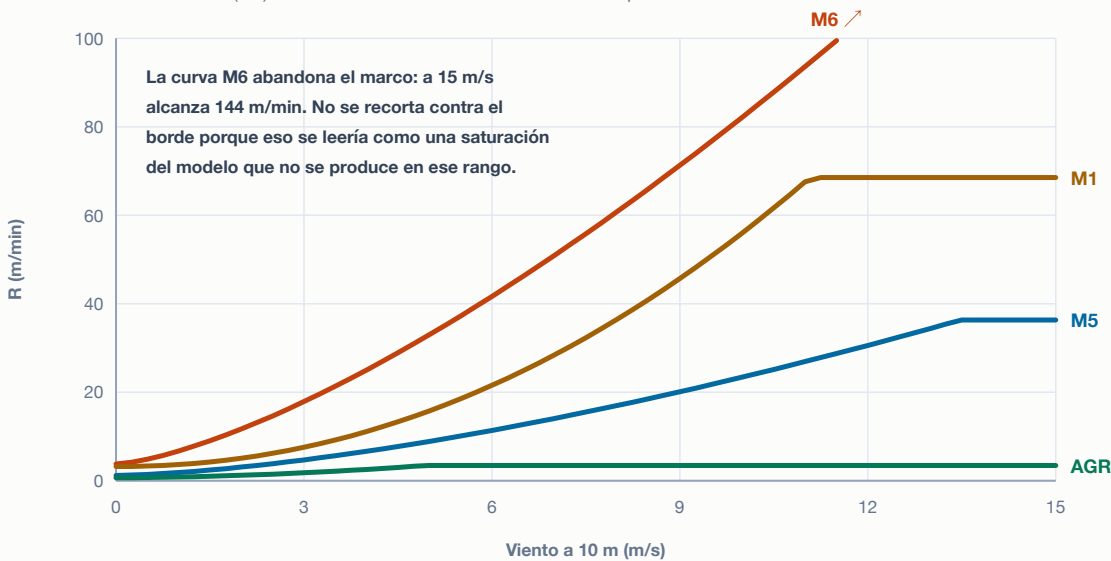


Figura 8.1 — Respuesta al viento de los cuatro combustibles del término. Las diferencias son de orden de magnitud, no de matiz: con viento de 12 m/s el matorral denso de monte propaga a 105 m/min mientras la huerta regada lo hace a 3,5 m/min. El pastizal, pese a su escasa carga, propaga muy rápido por su finura — σ elevado—, aunque con intensidad baja: es el combustible que corre y no quema. El codo de las curvas AGR, M1 y M5 sí corresponde al límite de viento efectivo de la ecuación (7.9), que cada modelo alcanza a una velocidad distinta (Tabla 8.4).

Tabla 8.4 — Velocidad de viento a la que cada combustible alcanza su límite de viento efectivo, ecuación (7.9).

Modelo	Viento en el límite	R en ese punto	Lectura
Matorral denso de monte M6	no alcanzado	—	No alcanza el límite dentro del rango explorado: su intensidad de reacción es tan alta que el umbral $0,9 \cdot I_R$ queda muy por encima.
Matorral bajo / romeral M5	13,50 m/s	36,3 m/min	Por encima de este viento el modelo deja de responder y el resultado debe interpretarse con cautela.
Pastizal fino y erial M1	11,25 m/s	68,5 m/min	Por encima de este viento el modelo deja de responder y el resultado debe interpretarse con cautela.
Huerta regada y cultivo AGR	5,00 m/s	3,5 m/min	Por encima de este viento el modelo deja de responder y el resultado debe interpretarse con cautela.

Este es un dato que conviene conocer al operar la plataforma: en huerta regada, cualquier viento superior a unos 5 m/s produce ya un resultado en el límite de validez del modelo. Es una limitación de Rothermel, no de esta implementación, y afecta igualmente a BehavePlus y FARSITE.

Humedad del combustible

Si hubiera que elegir una sola variable para predecir si un incendio será grave, no sería el viento: sería la humedad del combustible fino muerto. Es también la variable peor conocida en tiempo real, y por eso el modo en que un simulador la trata revela su seriedad.

9.1 · Por qué no basta con un multiplicador

La tentación, en una implementación superficial, es aplicar un factor de corrección proporcional a la humedad relativa del aire. Es incorrecto por dos razones. Primera, porque la relación no es lineal —la curva de la Figura 7.1 lo muestra—. Segunda, y más importante, porque **el combustible no sigue instantáneamente al aire**: tiende hacia un equilibrio con una constante de tiempo que depende de su grosor.

La plataforma resuelve la vía física correcta: calcula la **humedad de equilibrio higroscópico** con la formulación de Simard (1968), que es función de la temperatura y la humedad relativa del aire, y la emplea para desplazar la humedad de referencia que fija el operador.

9.2 · La formulación de Simard

Es una función definida a trozos, con tres ramas según el rango de humedad relativa. Los coeficientes son los originales y el cálculo se realiza en grados Fahrenheit, que es como se publicaron.

$$\begin{aligned}
 &0,03229 + 0,281073 \cdot H - 0,000578 \cdot H \cdot T \quad \text{si } H < 10 \% \\
 EMC &= 2,22749 + 0,160107 \cdot H - 0,014784 \cdot T \quad \text{si } 10 \leq H \leq 50 \% \\
 &21,0606 + 0,005565 \cdot H^2 - 0,00035 \cdot H \cdot T - 0,483199 \cdot H \quad \text{si } H > 50 \%
 \end{aligned} \tag{9.1}$$

H = humedad relativa del aire en %. T = temperatura en grados Fahrenheit. Resultado en % de humedad del combustible.

Humedad de equilibrio del combustible fino muerto

Ecuación (9.1) de Simard (1968), evaluada con la implementación del simulador

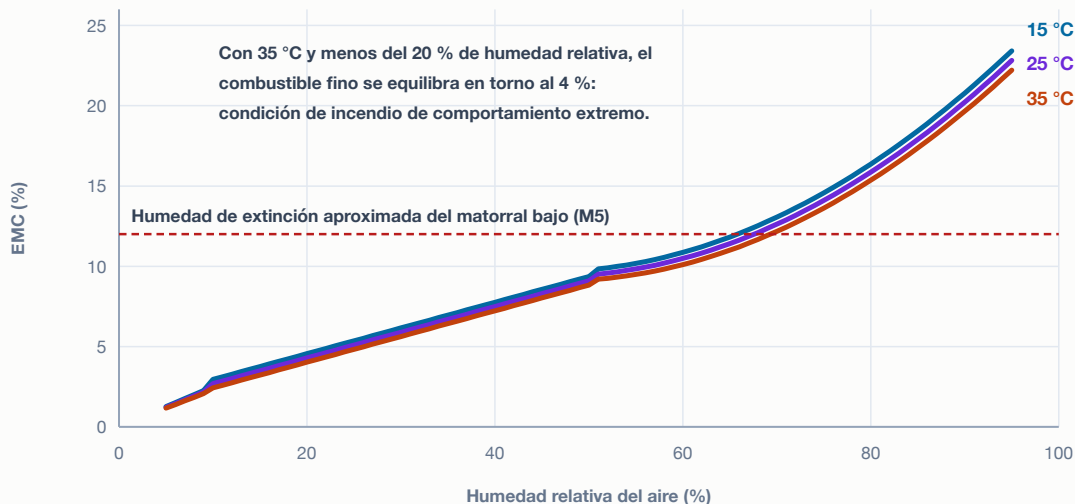


Figura 9.1 — Curvas de equilibrio higroscópico. El cambio de pendiente visible en torno al 50 % de humedad relativa es el paso de rama de la ecuación (9.1), no un error de trazado. La línea roja marca aproximadamente la humedad de extinción del matorral bajo: por encima de ella, ese combustible no sostiene la propagación.

9.3 · Cómo se compone la humedad efectiva

El motor no sustituye la humedad que fija el operador por la de equilibrio: la **desplaza**. El operador establece una humedad de referencia —la que estima o la que proporciona un índice oficial— y las condiciones ambientales la modifican respecto de un estado de referencia de 32 °C y 20 % de humedad relativa.

$$M_{\text{muerto}} = M_{\text{ref}} + [EMC(T, H) - EMC(32\text{ °C}, 20\text{ \%})] + \Delta_{\text{ladera}}$$

Acotado al intervalo [1 %, 35 %]. EMC(32 °C, 20 %) = 4,10 % es el estado de referencia.

(9.2)

La corrección por orientación de ladera

Una solana recibe mucha más radiación que una umbría y su combustible llega al episodio más seco. El motor aplica un desplazamiento fijo según la orientación declarada:

Tabla 9.1 — Corrección de humedad por orientación de ladera.

Orientación	Δ_{ladera}	Justificación
Solana (sur)	−1,5 %	Máxima insolación diaria acumulada; el combustible seca antes y más.
Poniente (oeste)	−0,8 %	Insolación en las horas de máxima temperatura, pero durante menos tiempo.
Llano o indiferente	0,0 %	Estado de referencia.
Umbría (norte)	+2,5 %	Radiación directa escasa y evaporación menor; retiene humedad sensiblemente más.

Estos desplazamientos son valores operativos de la práctica forestal mediterránea, no coeficientes derivados de un experimento propio. Se declaran como lo que son.

9.4 · Humedad de extinción del combustible vivo

El material vegetal vivo contiene entre el 70 % y el 200 % de su peso seco en agua y, en principio, no debería arder. Sin embargo arde, y con violencia, cuando el combustible muerto que lo rodea está muy seco: la energía liberada por éste basta para evaporar el agua de aquél. Albini (1976) formalizó ese acoplamiento.

$$M_{\text{x,vivo}} = \text{máx}[M_{\text{x}}, 2,9 \cdot W \cdot (1 - M_{\text{muerto}}/M_{\text{x}}) - 0,226]$$

W es el cociente entre la carga muerta y la viva, ponderadas por sus factores de exposición $e^{-138/\sigma}$ y $e^{-500/\sigma}$.

(9.3)

La estructura de esta ecuación es la clave: a medida que M_{muerto} descende, el paréntesis crece, la humedad de extinción viva sube y el combustible vivo **empieza a participar en la reacción**. Es el mecanismo por el que un matorral verde, que resistió el incendio de junio, arde en agosto.

Intensidad, longitud de llama y fuego de copas

10.1 · Intensidad lineal de Byram

La velocidad de propagación por sí sola no dice si un incendio es peligroso: un pastizal propaga muy rápido con llamas de medio metro. La magnitud que decide es la energía por metro de frente.

$$I_B = H \cdot w \cdot R$$

Byram (1959). H = poder calorífico, w = combustible consumido por unidad de superficie, R = velocidad de propagación. Resultado en kW/m. (10.1)

El motor la obtiene por la vía equivalente del calor por unidad de área, multiplicando la intensidad de reacción por el tiempo de residencia de la llama, que Rothermel establece en $384/\sigma$ minutos.

10.2 · Longitud de llama

$$L_f = 0,0775 \cdot I_B^{0,46}$$

Byram (1959). I_B en kW/m, L_f en metros.

(10.2)

Longitud de llama frente a intensidad lineal

Ecuación (10.2) · las líneas marcan los umbrales de capacidad de intervención de la Tabla 6.2

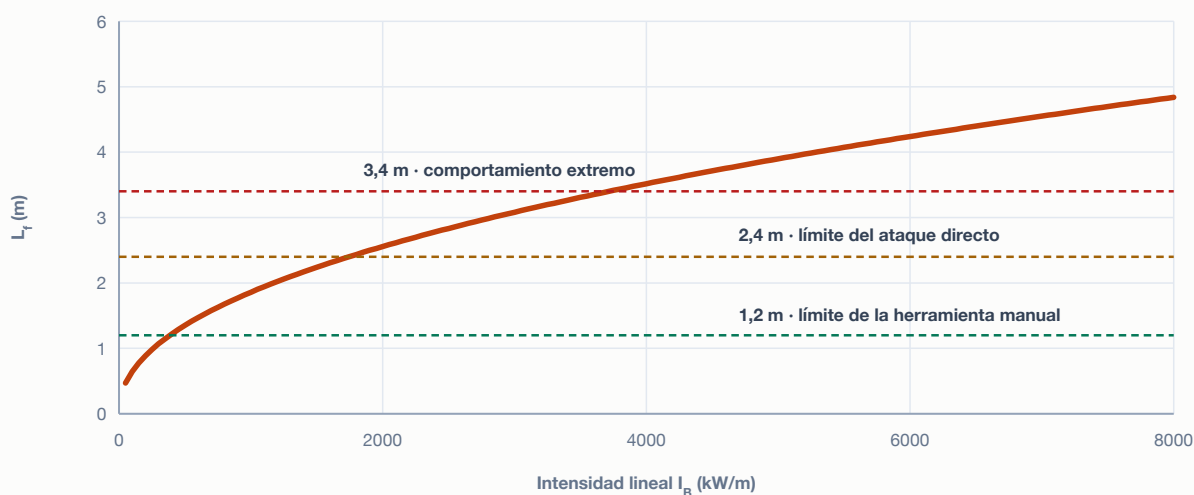


Figura 10.1 — La curva es cóncava: duplicar la intensidad no duplica la llama. Esto tiene una consecuencia operativa poco intuitiva —el salto de 350 a 1.700 kW/m, que multiplica por cinco la energía, apenas duplica la altura visible de la llama—, y explica por qué la apreciación visual del riesgo subestima sistemáticamente la intensidad real.

10.3 · El paso a fuego de copas

El momento en que un incendio de superficie asciende al arbolado es el que lo vuelve incontrolable: la velocidad se multiplica, aparecen focos secundarios por proyección de pavesas y el ataque directo deja de ser posible. Van Wagner (1977) estableció el umbral de intensidad necesario.

$$I_0 = [0,01 \cdot CBH \cdot (460 + 25,9 \cdot FMC)]^{1,5} \quad (10.3)$$

CBH = altura de la base de copas en m; FMC = humedad foliar del combustible vivo en %. Resultado en kW/m.

Umbral de paso a fuego de copas

Ecuación (10.3) · una intensidad superior a la curva provoca el ascenso al arbolado

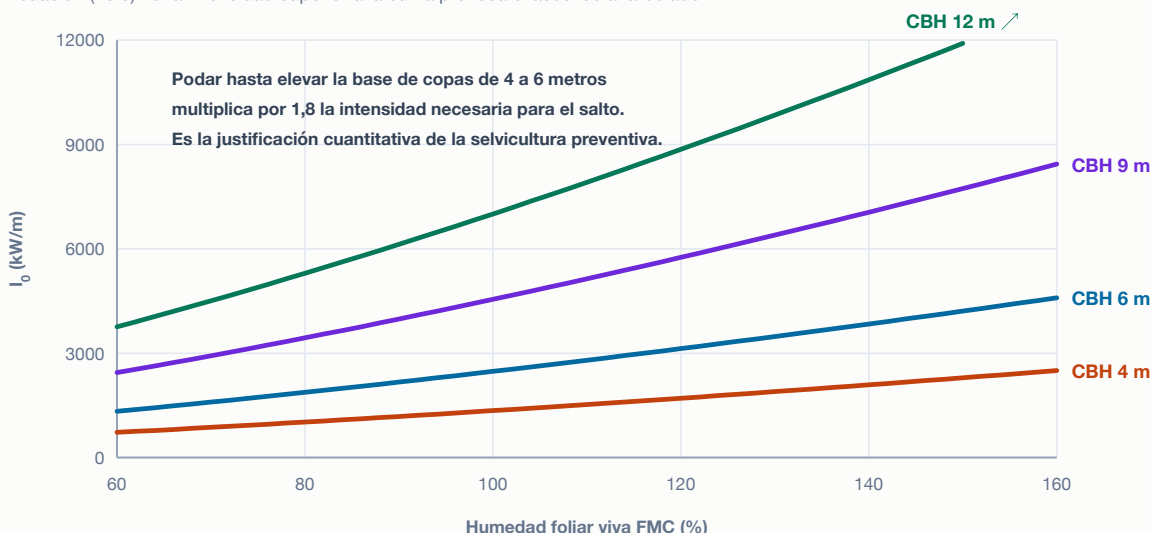


Figura 10.2 — Umbral de iniciación de fuego de copas. La dependencia con la altura de la base de copas es potencial de exponente 1,5, lo que convierte la poda de ramas bajas en la medida preventiva de mejor relación entre coste y efecto: eleva el umbral mucho más deprisa de lo que crece la altura podada.

10.4 · Las rachas deciden el salto, no el viento medio

Aquí el motor introduce un refinamiento que merece explicación porque no es habitual. El viento sostenido gobierna el avance *medio* del frente. Pero el paso a copas es un fenómeno de **umbral**: ocurre en el instante en que la intensidad supera I_0 , y ese instante coincide con una racha, no con la media.

Por eso el motor resuelve **dos escenarios de Rothermel en cada paso de simulación**: uno con el viento sostenido, del que toma la velocidad de propagación, y otro con el viento de racha, cuya intensidad es la que se contrasta con el umbral de copas.

Tabla 10.1 — Efecto del factor de racha sobre el paso a copas. Modelo M6 · humedad muerta 6 % · foliar 85 % · pendiente 25 % · umbral $I_0 = 1.098$ kW/m.

Viento sostenido	Factor de racha	Viento de racha	R (m/min)	Intensidad (kW/m)	¿Supera el umbral?
8 m/s	× 1,0	8,0 m/s	70,1	8.898	SÍ · fuego de copas
8 m/s	× 1,5	12,0 m/s	120,4	15.291	SÍ · fuego de copas
8 m/s	× 2,0	16,0 m/s	178,5	22.672	SÍ · fuego de copas
12 m/s	× 1,0	12,0 m/s	120,4	15.291	SÍ · fuego de copas
12 m/s	× 1,5	18,0 m/s	210,1	26.682	SÍ · fuego de copas
12 m/s	× 2,0	24,0 m/s	313,7	39.832	SÍ · fuego de copas

La lectura operativa: con viento sostenido de 8 m/s el incendio permanece en superficie, pero basta un factor de racha ordinario en un día de poniente para que cruce el umbral. Un modelo que sólo considerase la media daría, en ese caso, una previsión tranquilizadora y equivocada.

Geometría del perímetro

Los capítulos anteriores han resuelto *cuán rápido* avanza la cabeza del incendio. Falta la otra mitad del problema: *qué forma* adopta el perímetro, porque de ella depende quién queda dentro.

11.1 • Por qué una elipse

Un incendio que arranca de un punto en condiciones homogéneas y con viento constante desarrolla un perímetro que se aproxima muy bien a una **elipse**, con el foco de ignición en uno de sus focos geométricos y el eje mayor alineado con el viento. Esta observación, sostenida por decenas de incendios experimentales, es la base del sistema canadiense de predicción FBP y del módulo de propagación de esta plataforma.

$$L/B = 1 + 8,729 \cdot (1 - e^{-0,030 \cdot U})^{2,155} \quad (11.1)$$

Alexander (1985). U = viento a 10 m en km/h. L/B = relación entre el eje mayor y el eje menor de la elipse.

$$H/B = (L/B + \sqrt{((L/B)^2 - 1)}) / (L/B - \sqrt{((L/B)^2 - 1)}) \quad (11.2)$$

Relación entre el avance de la cabeza y el de la cola del incendio.

Alargamiento de la elipse en función del viento

Ecuación (11.1) · relación entre el eje mayor y el menor del perímetro

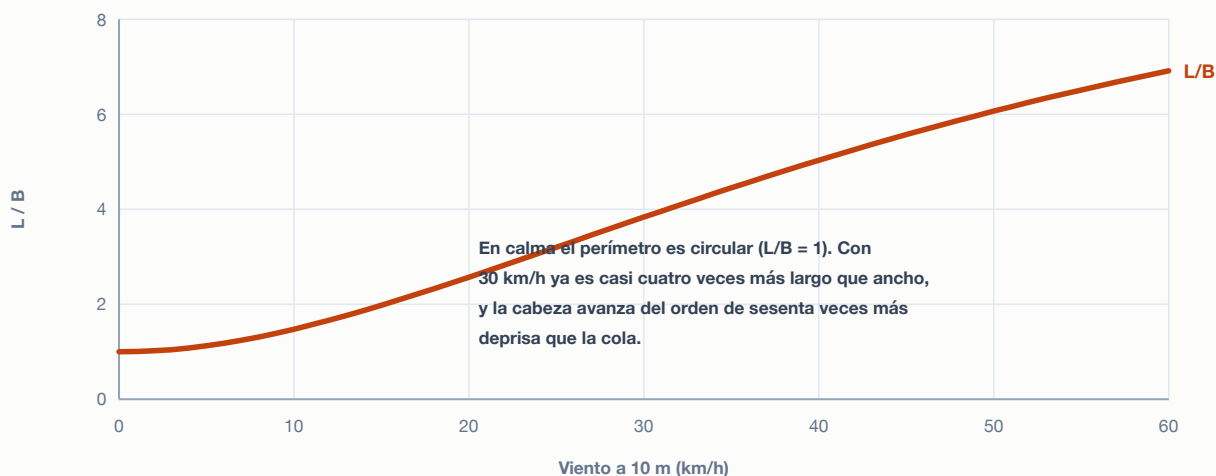


Figura 11.1 — Alargamiento del perímetro con el viento. La consecuencia táctica es que **la superficie quemada no informa del riesgo**: dos incendios de las mismas hectáreas, uno en calma y otro con 40 km/h, tienen perímetros completamente distintos y amenazan a poblaciones distintas.

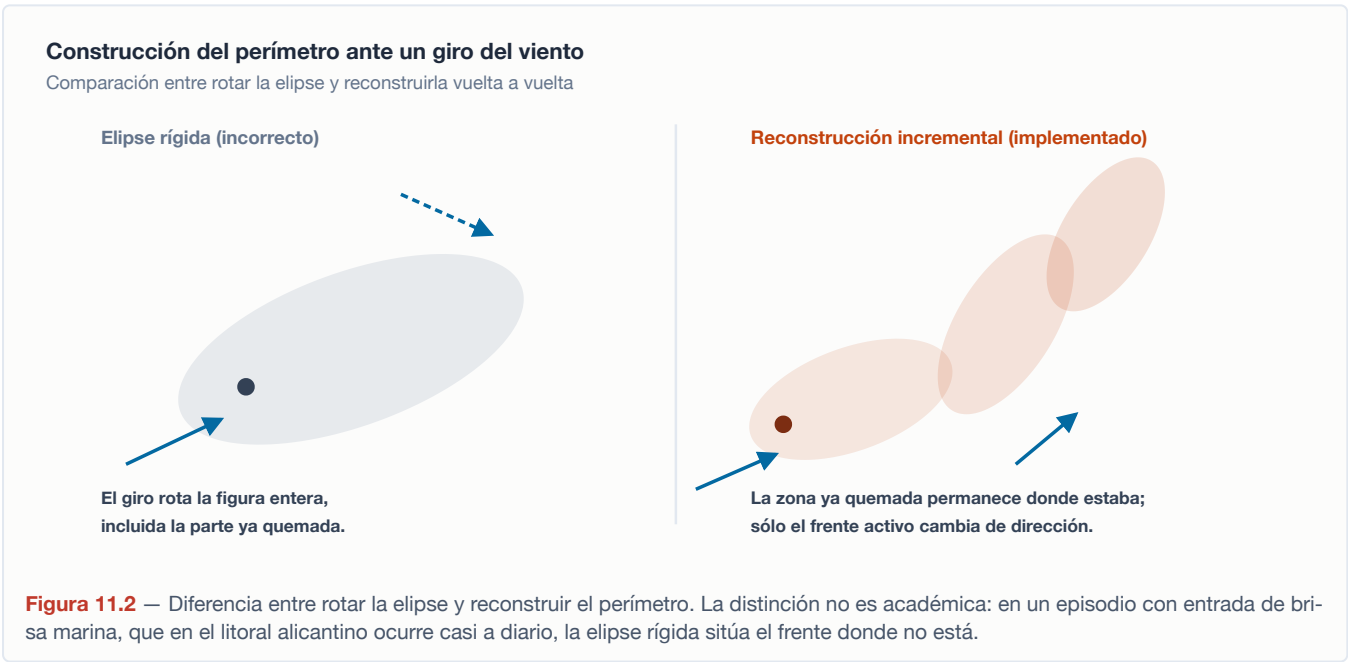
Tabla 11.1 — Geometría del perímetro para vientos característicos del término.

Viento a 10 m	L/B	Cabeza/cola	Interpretación
0 km/h	1,00	1 : 1	Perímetro circular. Propagación gobernada sólo por la pendiente.
10 km/h	1,48	7 : 1	Elipse suave. Los flancos siguen siendo abordables.
20 km/h	2,57	24 : 1	Elipse marcada. La cabeza concentra ya casi toda la energía.
30 km/h	3,84	57 : 1	Frente definido. La cola es prácticamente estacionaria.
40 km/h	5,03	99 : 1	Frente muy alargado. Riesgo alto de focos secundarios por delante de la cabeza.
50 km/h	6,07	145 : 1	Frente muy alargado. Riesgo alto de focos secundarios por delante de la cabeza.

11.2 · Propagación incremental: el principio de Huygens

Una elipse única sólo es válida si las condiciones no cambian. En la realidad el viento rola, el combustible cambia y la pendiente varía. El motor resuelve esto aplicando el **principio de Huygens**: cada punto del perímetro se comporta como un foco elemental que genera su propia elipse durante el intervalo siguiente, y el nuevo perímetro es la envolvente de todas ellas.

En la práctica, el motor recalcula **vuelta a vuelta** el estado físico con el viento y el combustible correspondientes a ese intervalo, de modo que un giro del viento a mitad de episodio produce un perímetro acodado —no una elipse rígida girada— que es lo que se observa en la realidad.



Tiempo de evacuación direccional

Este capítulo desarrolla la función que, a juicio del equipo redactor, constituye la aportación operativa más valiosa de la plataforma: el cálculo del **tiempo que tarda el frente en alcanzar una persona o un punto concreto**, resuelto en la dirección exacta de ese punto.

12.1 · Por qué no vale el radio medio

La aproximación ingenua consiste en dividir la distancia entre la velocidad de propagación. Es gravemente errónea, porque la velocidad de propagación es la de la *cabeza*, y la cabeza sólo apunta en una dirección. Una persona situada en el flanco tiene mucho más tiempo del que ese cálculo sugiere; una situada a sotavento, mucho menos. El error puede ser de un orden de magnitud, y equivocarse por exceso de optimismo en esa cifra cuesta vidas.

12.2 · Planteamiento

Sea el foco en el origen y el sujeto en las coordenadas locales (u, v) , donde u es la componente en la dirección del viento y v la perpendicular. La elipse de incendio en el instante t tiene semieje mayor $a \cdot t$, semieje menor $b \cdot t$, y su centro desplazado $d \cdot t$ respecto del foco, porque el punto de ignición no es el centro de la elipse sino uno de sus focos geométricos.

El sujeto queda alcanzado en el primer instante t en que se cumple la ecuación de la elipse:

$$\frac{(u - d \cdot t)^2}{(a \cdot t)^2} + \frac{v^2}{(b \cdot t)^2} = 1 \quad (12.1)$$

Condición de contacto entre el perímetro elíptico y el punto donde está el sujeto.

12.3 · Resolución

Multiplicando por $(a \cdot b \cdot t)^2$ y reordenando en potencias de t , la ecuación (12.1) se convierte en una **ecuación de segundo grado**:

$$(a^2 b^2 - b^2 d^2) \cdot t^2 + (2 \cdot b^2 \cdot d \cdot u) \cdot t - (b^2 u^2 + a^2 v^2) = 0 \quad (12.2)$$

Se retiene la menor raíz positiva: el primer instante de contacto.

La implementación contempla el caso degenerado en que el coeficiente cuadrático se anula —lo que ocurre cuando el desplazamiento del centro iguala al semieje mayor, es decir, cuando la cola de la elipse no avanza en absoluto—, resolviendo entonces la ecuación lineal resultante. Esta comprobación, que en el código es una sola línea, evita una división por cero con vientos fuertes.

RESULTADO: UNA CIFRA EXACTA, NO UNA ESTIMACIÓN

La solución de la ecuación (12.2) es **analítica**: no se itera, no se aproxima y no depende de la resolución de una malla. Para cada persona situada en el mapa, la plataforma resuelve esta cuadrática en la dirección de esa persona y devuelve los minutos disponibles. El contraste con los valores publicados por Alexander reproduce la referencia al decimal, como se documenta en el capítulo 26.

12.4 · Lo que se hace con esa cifra

El tiempo calculado alimenta tres decisiones automáticas del sistema:

- **Clasificación de urgencia del sujeto.** Por debajo de veinte minutos de margen, o a menos de doscientos cincuenta metros del frente, el sujeto se marca en estado crítico.
- **Validación del refugio propuesto.** Se comprueba que el tiempo de llegada al refugio, a velocidad de marcha a pie, sea inferior al tiempo de llegada del frente *a ese refugio*, no al punto de partida. Se comprueba además que el refugio no esté a sotavento directo del foco.
- **Trazado de la ruta.** Se descarta cualquier ruta cuyo segmento atravesase el polígono activo del incendio, muestreando el trayecto cada cuarenta metros.

Cuando no existe ninguna ruta completamente limpia —porque el refugio ha quedado rodeado—, el motor no traza la línea recta a través de las llamas: evalúa las alternativas y entrega **la que menos metros expone**. Es una decisión de diseño deliberada, y la que corresponde al problema real.

Análisis de sensibilidad del motor de incendios

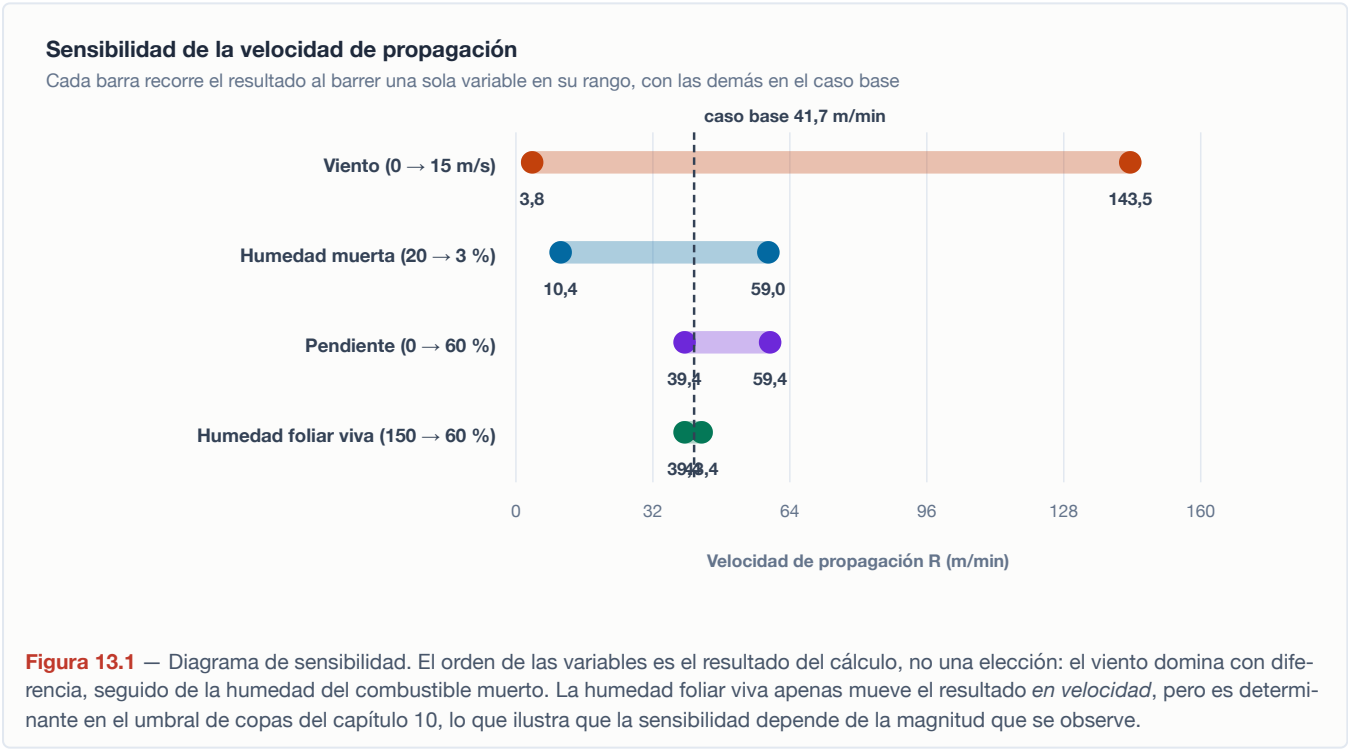
Un modelo que no se ha sometido a análisis de sensibilidad no está caracterizado. Este capítulo cuantifica cuánto responde el resultado a cada variable de entrada, lo que sirve para dos cosas: saber dónde conviene invertir esfuerzo en mejorar el dato, y saber qué incertidumbre arrastra el resultado.

13.1 • Método

Se parte de un **caso base** representativo de un episodio severo de verano en el matorral de Monte Canya, y se perturba cada variable de forma aislada dentro de su rango operativo, midiendo la variación de la velocidad de propagación.

Tabla 13.1 — Caso base del análisis de sensibilidad.

Variable	Valor base	Rango explorado
Modelo de combustible	M6 · matorral denso	fijo
Viento a 10 m	6,0 m/s	0 – 15 m/s
Humedad del combustible muerto	8 %	3 – 20 %
Humedad foliar viva	90 %	60 – 150 %
Pendiente	20 %	0 – 60 %
Velocidad resultante en el caso base	41,7 m/min	—



13.2 · Consecuencias prácticas del análisis

Tabla 13.2 — Lectura operativa del análisis de sensibilidad.

Variable	Influencia	Consecuencia para la explotación de la plataforma
Viento	Dominante	Es la variable en la que merece la pena invertir en calidad de dato. Un error de 2 m/s pesa más que todos los demás errores juntos. Justifica la conexión a datos meteorológicos en vivo y, a futuro, a una estación propia en el término.
Humedad del combustible muerto	Alta	Es la peor conocida en tiempo real. La plataforma la deriva de temperatura y humedad relativa, lo que es correcto pero indirecto. Una red de sensores de humedad de combustible sería la segunda mejora de mayor impacto.
Pendiente	Media	Se conoce con exactitud a partir del modelo digital del terreno, de modo que no aporta incertidumbre. Su influencia crece cuadráticamente: en laderas de más del 40 % duplica la velocidad.
Humedad foliar viva	Baja en R, alta en I_0	Poco relevante para la velocidad, decisiva para el paso a copas. Su valor estacional es razonablemente predecible.
Modelo de combustible	Muy alta	Cambia el resultado por un factor de hasta doce (Tabla 7.3). Es la razón por la que la sustitución del criterio zonal por una capa cartográfica es la mejora prioritaria del módulo.

QUÉ SE PUEDE AFIRMAR TRAS ESTE ANÁLISIS

Que el motor es fuertemente no lineal en el viento y que su incertidumbre está dominada por la calidad de dos datos de entrada: el viento local y la humedad del combustible. Esta conclusión no es una debilidad de esta implementación en particular: es una propiedad del modelo de Rothermel y afecta por igual a BehavePlus y a FARSITE. Lo que distingue a una implementación seria es declararla y cuantificarla, que es lo que hace este capítulo.

VOLUMEN III

Fundamentos hidrológicos e hidráulicos

De la lluvia de diseño a la lámina de agua en la calle: cadena completa de cálculo, esquema numérico, condición de estabilidad, tratamiento del río Monnegre y criterio de peligrosidad para personas y vehículos.

Capítulo 14. Hidrología de la gota fría en el litoral alicantino

Capítulo 15. Lluvia de diseño: de la curva IDF al hietograma

Capítulo 16. Lluvia neta: el umbral de escorrentía de Témez

Capítulo 17. Propagación bidimensional: celdas de almacenamiento y Manning

Capítulo 18. Estabilidad numérica, conservación de masa y coste de cálculo

Capítulo 19. El río Monnegre, el embalse de Tibi y los azudes históricos

Capítulo 20. Peligrosidad para personas y vehículos

Hidrología de la gota fría en el litoral alicantino

El módulo hidráulico no simula «una lluvia fuerte»: simula el fenómeno meteorológico concreto que produce las inundaciones en este territorio, que tiene un nombre, un mecanismo físico y una firma estadística propia. Este capítulo la describe, porque de ella dependen la forma del hietograma del capítulo 15 y la elección de los periodos de retorno.

14.1 • El mecanismo

Lo que popularmente se llama *gota fría* y técnicamente **depresión aislada en niveles altos** —DANA— es una bolsa de aire frío que se desprende de la circulación general en altura y queda estacionada sobre la Península. Cuando esa masa fría se sitúa sobre un Mediterráneo occidental cuya superficie ha acumulado calor durante todo el verano, se produce una inestabilidad extraordinaria: el aire cálido y cargado de humedad asciende con violencia, condensa y descarga.

Tres circunstancias locales convierten ese fenómeno general en un problema específico del litoral alicantino:

- **Temperatura del mar.** A finales de verano la capa superficial del Mediterráneo supera con holgura los 26 °C, lo que aporta a la atmósfera una cantidad de vapor de agua desproporcionada respecto de otras cuencas europeas.
- **Relieve inmediato.** Las sierras prelitorales se levantan a pocos kilómetros de la costa, forzando el ascenso de la masa húmeda y multiplicando la precipitación por efecto orográfico exactamente sobre las cabeceras de los barrancos.
- **Cuencas cortas y secas.** El tiempo de concentración de estas cuencas se mide en horas, no en días. El agua que cae en la cabecera llega a la desembocadura antes de que termine el episodio.

14.2 • La firma estadística: por qué la media anual engaña

La precipitación media anual de la comarca es baja, propia de un clima semiárido. Esa cifra, citada aisladamente, produce una falsa sensación de seguridad. Lo relevante no es la media sino la **concentración**: una fracción muy alta del total anual puede caer en unas pocas horas de un solo episodio.

LA CONSECUENCIA HIDROLÓGICA QUE DEFINE EL PROBLEMA

En un clima húmedo, el suelo llega al episodio con humedad acumulada y una capacidad de infiltración estabilizada. En un clima semiárido con lluvia torrencial, el suelo llega **seco, compactado y con costra superficial**. La infiltración inicial es baja y se satura muy deprisa, de modo que *el coeficiente de escorrentía crece a lo largo del propio episodio*. Esto no es un matiz: es la razón por la que el método del umbral de escorrentía del capítulo 16 —que es no lineal y creciente— es el adecuado aquí, y no un coeficiente fijo.

14.3 • Los periodos de retorno y su significado

Un periodo de retorno de 100 años no significa que el episodio ocurra una vez cada siglo. Significa que **cada año existe una probabilidad de 1 entre 100 de que se produzca o se supere**. La diferencia no es semántica: la probabilidad de que un episodio de $T=100$ se produzca al menos una vez durante la vida útil de una edificación de cincuenta años es del 39 %, no del 50 %.

$$P_{\text{excedencia}} = 1 - (1 - 1/T)^n$$

(14.1)

Probabilidad de que un episodio de periodo de retorno T se produzca al menos una vez en n años.

Tabla 14.1 — Probabilidad de excedencia según la ecuación (14.1). Es la tabla que conviene tener presente en cualquier decisión urbanística.

Periodo de retorno	En 10 años	En 25 años	En 50 años	En 100 años
T = 10 años	65,1 %	92,8 %	99,5 %	100,0 %
T = 100 años	9,6 %	22,2 %	39,5 %	63,4 %
T = 500 años	2,0 %	4,9 %	9,5 %	18,1 %

Lectura política de esta tabla: una vivienda situada en zona de T=100 tiene, a lo largo de una hipoteca de treinta años, en torno a una probabilidad entre cuatro de sufrir el episodio de diseño. Presentado así, deja de parecer un riesgo remoto.

14.4 · Los tres escenarios que resuelve la plataforma

Tabla 14.2 — Escenarios de periodo de retorno implementados y su correspondencia normativa.

Escenario	Denominación normativa	Uso previsto
T = 10 años	Alta probabilidad	Dimensionado de drenaje urbano ordinario. Identifica los puntos que se anegan de forma recurrente y que la población ya conoce.
T = 100 años	Probabilidad media · episodio de diseño	Referencia principal de la Directiva 2007/60/CE y del planeamiento. Es el escenario de contraste con la cartografía oficial.
T = 500 años	Baja probabilidad · episodio extremo	Planificación de protección civil y análisis de resiliencia de infraestructuras críticas.

Lluvia de diseño

La entrada del modelo hidráulico no es un número de litros: es una **distribución temporal de la intensidad**. Dos episodios de los mismos 180 mm producen inundaciones radicalmente distintas según caigan repartidos en veinticuatro horas o concentrados en noventa minutos.

15.1 · De la curva intensidad-duración-frecuencia al hietograma

La estadística de precipitaciones extremas se sintetiza en las **curvas IDF**, que relacionan la intensidad media máxima con la duración del intervalo y con el periodo de retorno. Para España, la referencia es la publicación *Máximas lluvias diarias en la España peninsular* del Ministerio de Fomento, cuyo procedimiento adopta la Instrucción 5.2-IC.

Una curva IDF proporciona intensidades *medias* para cada duración, pero no dice en qué orden se producen. Convertirla en una secuencia temporal exige un procedimiento adicional; el más extendido es el **hietograma de bloques alternos**, que ordena los incrementos de lluvia situando el más intenso en el centro y alternando los siguientes a un lado y a otro.

15.2 · El hietograma que implementa el motor

La plataforma emplea una **envolvente continua de tipo gaussiano**, normalizada numéricamente para que el área bajo la curva sea exactamente la precipitación total declarada, con la posición de la punta gobernada por un parámetro que el operador controla.

$$p(m) = P_{\text{total}} \cdot e^{-1/2 \cdot x^2} / \sum_i e^{-1/2 \cdot x_i^2} \quad \text{con } x = (m - m_{\text{punta}}) / s, \quad s = D/6 \quad (15.1)$$

$p(m)$ = lluvia del minuto m , en mm. D = duración total del episodio en minutos. $m_{\text{punta}} = D \cdot \text{peakPct}/100$.

La normalización por la suma —y no por la integral analítica de la gaussiana— es una decisión deliberada: garantiza que el **balance de masa sea exacto en aritmética discreta**, que es la que ejecuta el motor. Si se normalizase analíticamente, la suma de los minutos simulados no daría la lluvia declarada y el error se acumularía en el balance del capítulo 18.

Hietograma de diseño · episodio de 180 mm en 3 horas, punta al 32 %

Ecuación (15.1), generada con la misma función que ejecuta el simulador

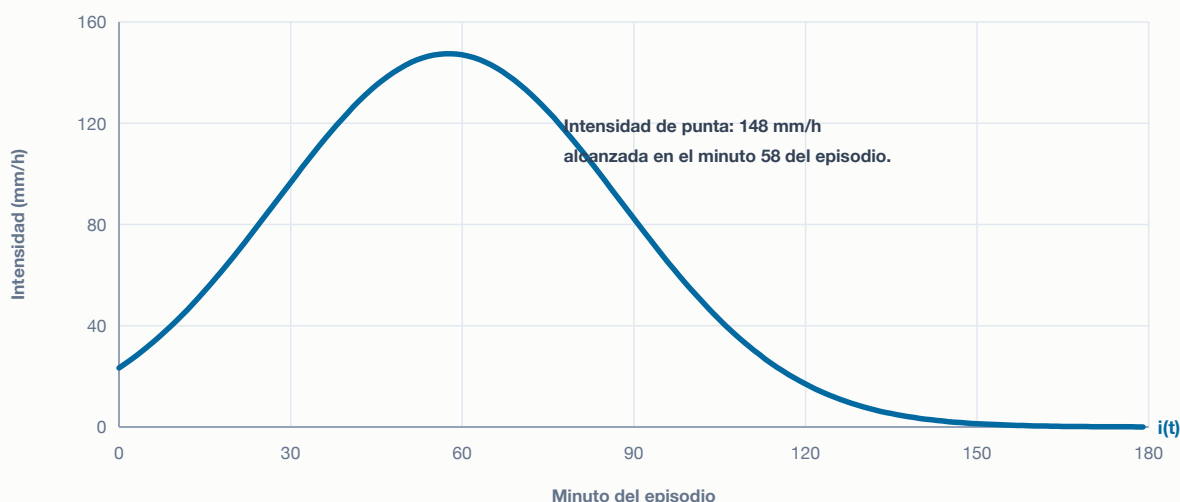


Figura 15.1 — Hietograma de diseño para el episodio de referencia. La punta de 148 mm/h es la magnitud que satura el alcantarillado, no los 180 mm totales: una red dimensionada para 60 mm/h se ve superada durante casi una hora, y es en ese intervalo cuando el agua pasa a circular por la superficie.

15.3 · El parámetro de posición de la punta

La posición temporal de la punta es un parámetro con consecuencias hidráulicas de primer orden, y por eso se ha dejado en manos del operador en lugar de fijarlo.

Tabla 15.1 — Efecto de la posición de la punta sobre el comportamiento del episodio.

Punta	Situación que representa	Comportamiento hidráulico
Temprana (15–25 %)	Frente convectivo que descarga al llegar y se aleja.	El suelo está seco y absorbe la primera parte. Menor volumen de escorrentía, pero punta de caudal muy brusca.
Centrada (30–50 %)	Episodio convectivo típico. Es el valor por defecto.	Comportamiento equilibrado. Es la hipótesis estándar de la práctica hidrológica.
Tardía (65–80 %)	Episodio que se recrudece tras horas de lluvia sostenida.	El caso más desfavorable. El suelo ya está saturado cuando llega la máxima intensidad: casi toda ella escurre.

RECOMENDACIÓN DE USO

Para el análisis de peligrosidad conviene ejecutar el escenario con punta tardía, que es el que produce el mayor volumen de escorrentía para la misma precipitación total. Presentar únicamente el escenario centrado subestima sistemáticamente el resultado. Esta recomendación figura también en el manual de operación del capítulo 40.

Lluvia neta: el umbral de escorrentía

No toda la lluvia que cae escurre. Una parte se infiltra, otra queda retenida en depresiones del terreno y en la vegetación, y otra se evapora. La **lluvia neta** —la fracción que realmente circula— es la entrada verdadera del modelo hidráulico, y su cálculo es donde más implementaciones se equivocan.

16.1 · El método del umbral de escorrentía

El procedimiento que recoge la **Instrucción 5.2-IC de drenaje superficial**, debido a Témez y emparentado con el método del número de curva del Servicio de Conservación de Suelos norteamericano, expresa la escorrentía acumulada en función de la precipitación acumulada y de un único parámetro con significado físico: el **umbral de escorrentía** P_0 , que es la cantidad de lluvia que el terreno absorbe antes de que empiece a correr agua.

$$P_e = \frac{(P - P_0)^2}{P + 3 \cdot P_0} \quad \text{si } P > P_0 ; \quad P_e = 0 \text{ en caso contrario} \quad (16.1)$$

P = precipitación acumulada (mm). P_e = escorrentía acumulada (mm). P_0 = umbral de escorrentía (mm).

16.2 · Por qué esta formulación y no un coeficiente fijo

La ecuación (16.1) tiene tres propiedades que la hacen adecuada al régimen mediterráneo y que un coeficiente de escorrentía constante no puede reproducir:

1. **Umbral inicial.** Por debajo de P_0 no hay escorrentía en absoluto. Un coeficiente fijo produciría caudal desde la primera gota, lo que es falso.
2. **Crecimiento no lineal.** La fracción que escurre *aumenta* con la lluvia acumulada, reproduciendo la saturación progresiva del suelo.
3. **Asíntota correcta.** Para precipitaciones muy grandes, P_e tiende a P menos una pérdida acotada: cuando el suelo está saturado, escurre prácticamente todo.

Escurrentía acumulada frente a precipitación acumulada

Ecuación (16.1), para los umbrales de escurrentía característicos del término

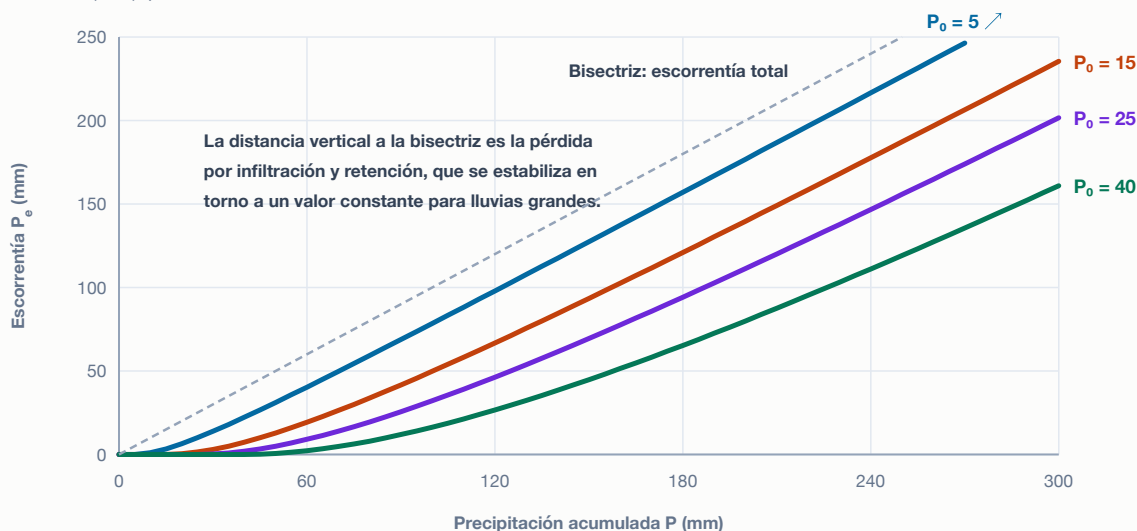


Figura 16.1 — Curvas de escurrentía. Con un umbral de 25 mm —huerta— un episodio de 100 mm produce 32 mm de escurrentía, un 32 % del total; el mismo suelo, ante un episodio de 300 mm, deja escurrir el 67 %. Esa progresión es la que hace peligrosos los episodios largos.

16.3 · Los umbrales asignados por uso del suelo

El motor asigna a cada celda del dominio su umbral de escurrentía y su coeficiente de rugosidad en función de su uso del suelo real, obtenido de la cartografía. Los valores implementados son los siguientes.

Tabla 16.1 — Parámetros hidrológicos e hidráulicos por uso del suelo, tal y como los declara el motor.

Uso del suelo	P_0	n de Manning	P_e ante 180 mm	Comportamiento
Cauce y barranco	8 mm	0,035	145 mm (81 %)	Concentra el flujo procedente de toda la cuenca vertiente.
Urbano y viario	5 mm	0,015	157 mm (87 %)	Impermeable. Escurre casi todo y con rozamiento mínimo: es el uso que genera el problema.
Huerta y cultivo	25 mm	0,045	94 mm (52 %)	Absorbe bien al principio; la huerta banalada retiene además volumen.
Pastizal y erial	30 mm	0,060	83 mm (46 %)	Absorción media, rozamiento apreciable.
Matorral	32 mm	0,070	79 mm (44 %)	Buena absorción y rozamiento alto: frena y retiene.
Masa forestal	40 mm	0,100	65 mm (36 %)	Máxima absorción y máximo rozamiento. Es el uso que más protege aguas abajo.

Coeficientes de rugosidad según Chow (1959), *Open-Channel Hydraulics*, que es la referencia universal para esta tabla. Los umbrales de escurrentía son coherentes con los valores tabulados en la Instrucción 5.2-IC para grupos hidrológicos de suelo semipermeables.

EL DATO QUE RESUME EL PROBLEMA URBANO

Compárense las dos filas extremas de la tabla anterior. Ante el mismo episodio de 180 mm, la masa forestal deja escurrir 65 mm y el suelo urbano 157 mm: **más del doble**. Y lo hace, además, con un rozamiento seis veces menor, de modo que ese volumen circula mucho más rápido. Urbanizar una ladera no traslada el problema: lo multiplica, y lo traslada.

Propagación bidimensional

Conocida la lluvia neta, queda el problema central: determinar hacia dónde va y qué altura alcanza. Este capítulo describe el esquema numérico, sus hipótesis y sus límites.

17.1 · La jerarquía de modelos hidráulicos

Existe una gradación bien establecida de modelos, de menor a mayor completitud. Situar el que se emplea dentro de esa gradación es la primera obligación de honestidad técnica.

Tabla 17.1 — Jerarquía de modelos hidráulicos y posición del implementado.

Modelo	Términos que conserva	Aplicabilidad y coste
Aguas someras completas (Saint-Venant 2D)	Inercia local, inercia convectiva, presión, fricción	Reproduce resaltos, frentes de choque y rotura de presa. Es lo que resuelve IBER. Coste de cálculo muy alto.
Onda dinámica sin término convectivo	Inercia local, presión, fricción	Buen compromiso para flujo urbano rápido. Requiere paso de tiempo pequeño.
Onda difusiva · celdas de almacenamiento (implementado)	Presión y fricción; se desprecia la inercia	Válido cuando el flujo es gradualmente variado , que es el caso de la inundación pluvial urbana y de la llanura de inundación. Coste moderado. Es el esquema de Bates y De Roo (2000).
Onda cinemática	Sólo fricción, con pendiente del fondo	Insuficiente en terreno llano: no representa el remanso ni el encharcamiento, que es justo lo que interesa.

DECLARACIÓN EXPRESA DE LA HIPÓTESIS

El motor **desprecia los términos inerciales**. Esto es correcto para el flujo gradualmente variado que produce una lluvia intensa sobre una ciudad, y es incorrecto para un frente de choque. Por esa razón, y como se detalla en el capítulo 19, la plataforma **simula el vaciado controlado de la presa pero no simula su rotura**: la rotura genera un frente que este esquema suavizaría, subestimando su celeridad y su altura. Es preferible declarar que no se puede a entregar un resultado erróneo con apariencia de cálculo.

17.2 · Preparación del terreno

Antes de propagar una sola gota hay que preparar el modelo digital del terreno, que llega con imperfecciones incompatibles con el cálculo hidráulico.

Relleno de depresiones

Todo modelo digital de elevaciones contiene **sumideros artificiales**: celdas más bajas que todas sus vecinas por error de medida o por interpolación bajo un puente. Sin tratarlos, el agua entra y no sale nunca. El motor aplica el algoritmo de **relleno iterativo de Planchon y Darboux (2002)**, que eleva las celdas hasta permitir el drenaje conservando la topología.

Ese relleno tiene, además, un uso secundario que resultó decisivo y que se documenta en el capítulo 19: **la magnitud del relleno aplicado a cada celda identifica las cubetas reales del terreno** —vasos de embalse, canteras, cauces encajados aguas arriba de un azud—, y permite separarlas del calado de calle.

Direcciones de flujo

Se calculan por el método **D8 de O'Callaghan y Mark (1984)**: cada celda vierte hacia la vecina de máxima pendiente, entre las ocho posibles. La acumulación de flujo resultante identifica la red de drenaje natural, que

es la que el motor clasifica como cauce.

17.3 · El esquema de celdas de almacenamiento

El dominio se discretiza en una malla regular. Cada celda almacena un volumen de agua, expresado como calado h sobre la cota del terreno z . El intercambio entre celdas contiguas se calcula con la **ecuación de Manning aplicada a la pendiente de la lámina de agua**, no a la pendiente del fondo, que es lo que distingue la onda difusiva de la cinemática.

$$q = \frac{h_f^{5/3}}{n} \cdot \sqrt{S} \cdot w \quad \text{con} \quad S = [(z_i + h_i) - (z_j + h_j)] / \Delta x \quad (17.1)$$

q = caudal a través de la cara, m³/s. h_f = calado efectivo de paso. n = rugosidad media de las dos celdas. w = anchura de la cara. Δx = distancia entre centros.

El calado efectivo de paso

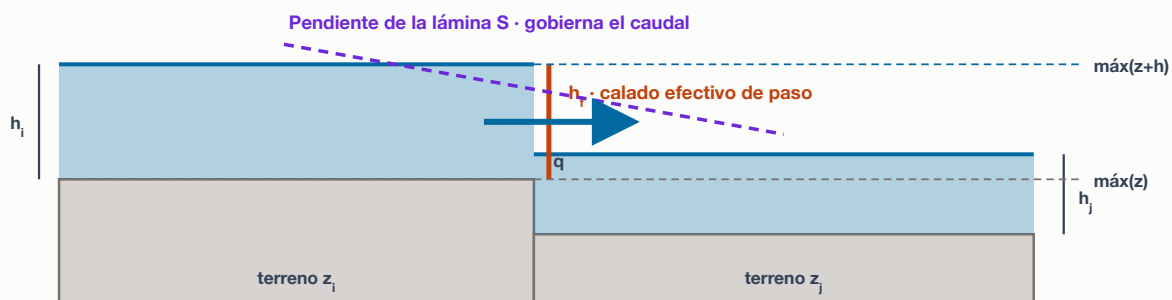
Este detalle es el que separa un modelo que funciona de uno que no. El agua no cruza con todo su calado: sólo puede pasar **la lámina que queda por encima del escalón de terreno** que separa ambas celdas.

$$h_f = \max(z_i + h_i, z_j + h_j) - \max(z_i, z_j) \quad (17.2)$$

Diferencia entre la cota de lámina más alta y la cota de terreno más alta. Si es nula o negativa, no hay trasvase.

Intercambio entre dos celdas contiguas

Ecuaciones (17.1) y (17.2) · el agua sólo cruza por encima del escalón de terreno



Si el calado de la celda alta no supera el escalón de terreno, $h_f \leq 0$ y no hay trasvase: el agua queda retenida.

Figura 17.1 — Esquema del intercambio. Emplear el calado total en lugar del efectivo de paso —error frecuente— permite que el agua atraviese muros y terraplenes, y produce manchas de inundación que se extienden por donde no deben.

17.4 · Las cuatro caras y por qué no bastan dos

El motor evalúa las **cuatro caras** de cada celda activa, actuando sólo cuando esa celda es la que cede agua. Así cada pareja de vecinas se resuelve exactamente una vez, sin duplicar trasvases.

Evaluar sólo dos caras sería la mitad de caro y está documentado que introduce un **sesgo direccional grave**: si la vecina cuesta abajo está seca, no figura en la lista de celdas activas, su cara no se evalúa nunca y el agua no

puede avanzar en esas dos direcciones sobre terreno seco. El resultado es una mancha de inundación desplazada sistemáticamente hacia dos cuadrantes.

17.5 · Los limitadores de volumen

El caudal que da la ecuación (17.1) es el teórico. El motor lo acota por dos condiciones físicas elementales:

Tabla 17.2 — Limitadores aplicados al volumen trasvasado.

Limitador	Formulación	Razón
Por almacenamiento	$V \leq 0,25 \cdot h_i \cdot A_{\text{celda}}$	No puede salir más agua de la que la celda contiene. El factor 0,25 reparte el volumen disponible entre las cuatro caras.
Por desnivel	$V \leq 0,5 \cdot \Delta H \cdot A_{\text{celda}}$	El trasvase no puede invertir el desnivel entre láminas. Sin este límite, dos celdas se intercambian agua a saltos y el esquema oscila.

UN DETALLE DE HONESTIDAD EN LA TELEMETRÍA

Tras aplicar los limitadores, el motor recalcula el caudal y la velocidad **efectivos** —los correspondientes al agua realmente trasvasada— en lugar de informar del caudal teórico de Manning previo al limitador. Informar del teórico daría cifras de caudal imposibles, que nunca llegan a producirse. Es una decisión pequeña en el código y grande en la credibilidad de la cifra que aparece en pantalla.

17.6 · Comportamiento de la ecuación de Manning

Velocidad de la lámina de agua según el calado y el uso del suelo

Ecuación de Manning con pendiente de lámina del 2 % · $v = (1/n) \cdot h^{(2/3)} \cdot \sqrt{S}$

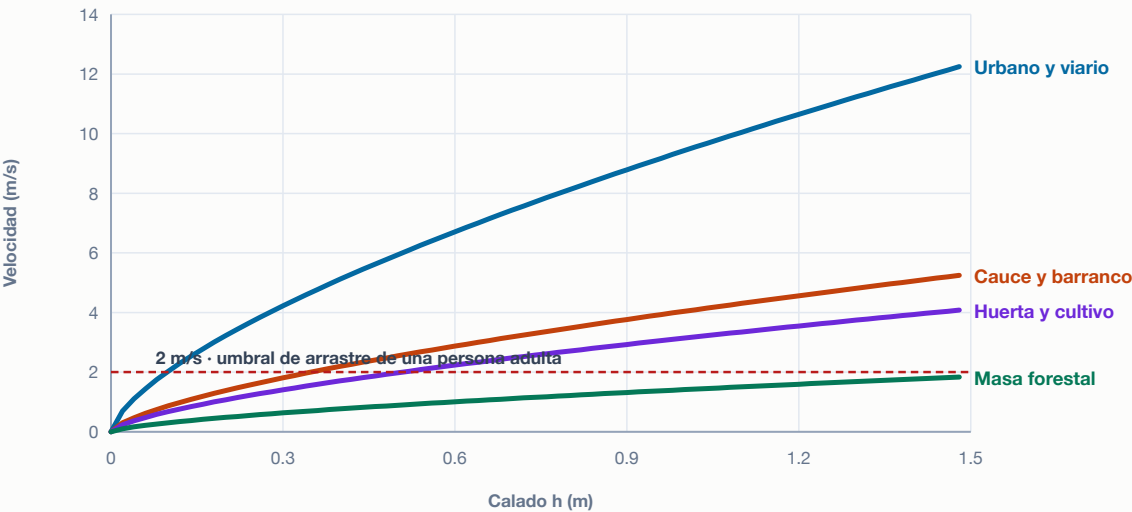


Figura 17.2 — El efecto de la rugosidad es dominante. Con veinte centímetros de calado y la misma pendiente, el agua circula por asfalto a más del triple de velocidad que por matorral. Es la traducción física de por qué una calle es más peligrosa que un campo: no por el agua que lleva, sino por la velocidad a la que la lleva.

Estabilidad numérica y coste de cálculo

Este capítulo trata de lo que hace que el modelo sea ejecutable en un navegador sin dejar de ser correcto. Es material técnico y su lectura puede omitirse en una presentación institucional, pero es exactamente lo que examinará un evaluador universitario.

18.1 • La condición de Courant

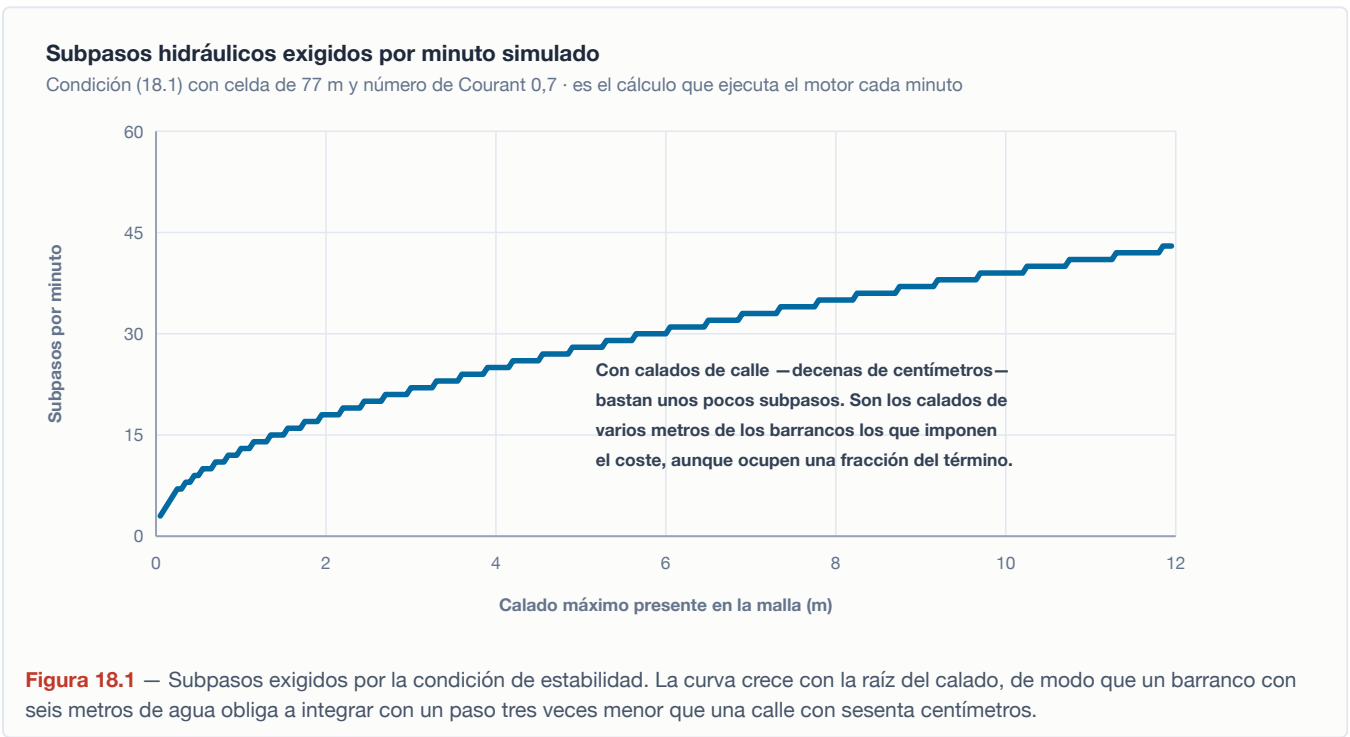
Un esquema explícito como el implementado es condicionalmente estable: si el paso de integración es demasiado grande, el agua puede recorrer más de una celda por paso y el cálculo se descontrola. La condición que lo impide es la de **Courant-Friedrichs-Lewy**, con la celeridad de la onda en aguas someras.

$$\Delta t \leq \alpha \cdot \Delta x / \sqrt{(g \cdot h)}$$

(18.1)

$\alpha = 0,7$ (número de Courant adoptado). Δx = lado de celda. $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. h = calado máximo presente en la malla.

El motor **recalcula el número de subpasos necesarios en cada minuto simulado**, a partir del calado máximo presente en toda la malla, y lo acota por arriba para que un pico puntual no dispare el tiempo de cálculo.



Un hallazgo experimental que conviene documentar

Durante el desarrollo se ensayó **excluir los cauces del cálculo del paso de tiempo**, con la idea de ahorrar subpasos, puesto que la malla no resuelve su sección real. El resultado fue contraproducente y merece registrarse porque es contraintuitivo:

1. Al integrar los cauces con un paso demasiado grande, el limitador de volumen actuaba de forma permanente.
2. Ese limitador estrangulaba el desagüe del barranco, y el agua se represaba artificialmente.
3. El barranco represado desbordaba hacia la llanura, elevando el calado allí.
4. El calado elevado en la llanura volvía a disparar el número de subpasos.

El cálculo se volvió varias veces más lento en lugar de más rápido, y además producía una mancha de inundación falsa. El paso se fija hoy con el calado máximo de toda la malla, cauces incluidos.

18.2 · Optimizaciones que no comprometen el resultado

Tabla 18.1 — Optimizaciones implementadas y su efecto sobre la exactitud.

Optimización	Descripción	Efecto sobre el resultado
Tablas de potencias precalculadas	$h^{5/3}$ y $\sqrt{S}$ se evalúan más de un millón de veces por minuto simulado. Se interpolan linealmente sobre tablas de 8.192 entradas.	Error inferior al 0,01 % , dos órdenes de magnitud por debajo de la incertidumbre del propio modelo. El bucle se ejecuta varias veces más rápido.
Lista de celdas activas	Sólo entran en el bucle hidráulico las celdas con calado superior al umbral de movilidad de 5 mm.	Ninguno sobre el balance de masa: el agua sigue contabilizada donde está. Lo que se evita es recorrer decenas de miles de celdas que no aportan flujo.
Umbral de movilidad	Una lámina de menos de 5 mm sobre terreno rugoso es prácticamente inmóvil: la rugosidad de Manning se la come.	Despreciable. El caudal que produciría esa lámina es varios órdenes de magnitud inferior al del flujo principal.
Ejecución en trabajador	El bucle hidráulico se ejecuta fuera del hilo de interfaz.	Ninguno sobre el cálculo. La interfaz permanece fluida durante la simulación.

18.3 · Conservación de masa

El balance de volumen es la prueba de fuego de cualquier modelo hidráulico. En cada instante debe cumplirse:

$$V_{\text{lluvia neta}} + V_{\text{aporte fluvial}} = V_{\text{almacenado}} + V_{\text{salida del dominio}} + V_{\text{alcantarillado}}$$

Ecuación de continuidad global. El motor contabiliza los cuatro términos por separado y los publica en su telemetría.

(18.2)

El agua que alcanza el borde del dominio se contabiliza como salida y abandona el término municipal, que es el comportamiento físico correcto: el término no es un recipiente cerrado. Ese volumen se acumula en un contador propio, de modo que el balance puede comprobarse en cualquier instante de la simulación.

El río Monnegre, Tibi y los azudes

Este capítulo trata el elemento singular de la hidrología de Mutxamel y documenta, con detalle, un error de diagnóstico real que se produjo durante el desarrollo y cómo se resolvió. Se incluye deliberadamente: la trazabilidad de un error corregido dice más de la fiabilidad de una herramienta que cualquier declaración de calidad.

19.1 · El sistema hidráulico heredado

Tabla 19.1 — Elementos del sistema hidráulico del Monnegre en el ámbito de simulación.

Elemento	Datos verificados	Relevancia para el modelo
Embalse de Tibi	3,69 hm³ de proyecto · presa de 65 m (42 m sobre el cauce) · mampostería · 1579–1594	Aguas arriba del término. Determina el hidrograma de entrada en el escenario de avenida y en el de vaciado.
Assut de Sant Joan	38,4317834 / –0,4432726	Retiene una lámina permanente. Cartografiado en OpenStreetMap como presa, no como masa de agua.
Assut del Campello	38,4314 / –0,4366	Ídem, aguas abajo del anterior.
Pantano de Mutxamel	38,43449 / –0,45322	Vaso menor sobre el propio cauce.

ADVERTENCIA SOBRE LA CAPACIDAD DE TIBI

Los 3,69 hm³ son la **capacidad de proyecto**, confirmada por dos fuentes convergentes: el Inventario de Presas y Embalses del Ministerio, que consigna 3.690.776 m³, y el Sindicato de Riegos de la Huerta de Alicante, que gestiona la presa desde 1849 y cifra el vaso original en 3,7 hm³. Ambas advierten de que **el vaso está hoy muy reducido por aterramiento** —recibe lodos de la Foia de Castalla— y no se ha localizado cifra oficial del volumen útil actual. Para simular un vaciado real debe emplearse el volumen embalsado que publica el SAIH, no la capacidad de proyecto. La aplicación lo advierte en su propio panel.

19.2 · El hidrograma de avenida

Una crecida fluvial no es un escalón: sube deprisa hasta la punta y baja mucho más despacio, porque la cuenca sigue drenando cuando ya ha dejado de llover. El motor emplea la forma triangular asimétrica de la práctica hidrológica, con la punta al tercio del tiempo base.

$$Q(t) = Q_p \cdot (t/t_p) \text{ si } t \leq t_p ; \quad Q(t) = Q_p \cdot (1 - (t-t_p)/(t_b-t_p)) \text{ si } t > t_p \tag{19.1}$$

$t_p = t_b/3$, con t_b el tiempo base del hidrograma.

19.3 · El vaciado de la presa: ley de orificio

El segundo modo de aporte fluvial es la **apertura total de los desagües de fondo**, que es una maniobra real de gestión del embalse ante un episodio previsto. El caudal por un desagüe de fondo obedece a la ley de orificio y decae con la raíz de la carga:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \tag{19.2}$$

C_d = coeficiente de descarga; A = sección del desagüe; h = carga sobre el orificio. A medida que el embalse se vacía, h baja y

Aporte del cauce: avenida frente a vaciado de la presa

Ecuaciones (19.1) y (19.2) · caudal de punta de referencia 350 m³/s

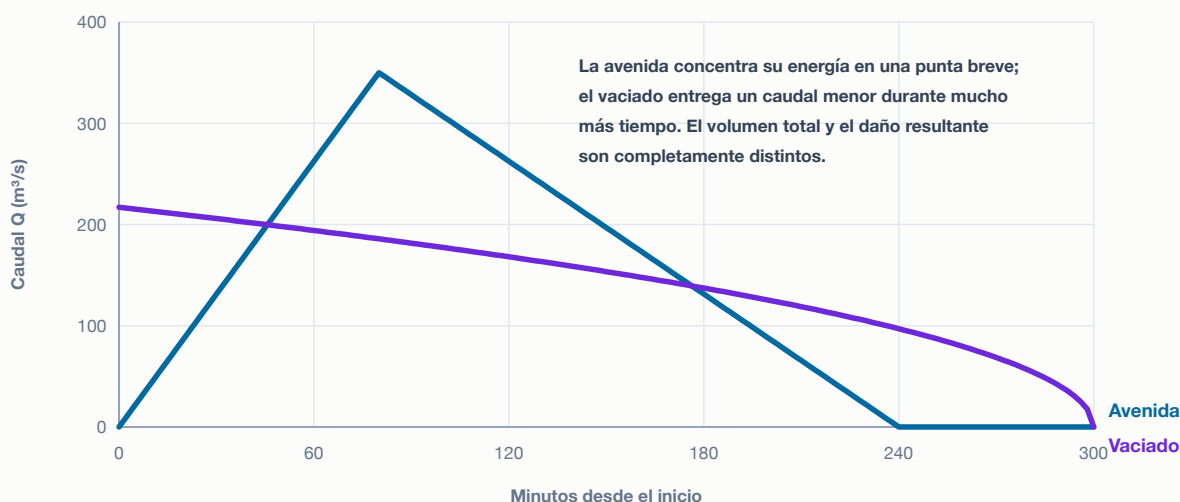


Figura 19.1 — Los dos modos de aporte fluvial implementados. La distinción importa operativamente: ante un episodio previsto, vaciar anticipadamente el embalse traslada volumen desde una punta peligrosa a un caudal sostenido y manejable. La plataforma permite ensayar esa decisión antes de tomarla.

LO QUE EXPRESAMENTE NO SE SIMULA: LA ROTURA

Un vaciado **no es una rotura**, y la distinción es técnica, no cautelar. Una rotura genera un frente de choque con términos inerciales dominantes que el esquema de onda difusiva del capítulo 17 no puede representar: lo suavizaría, subestimando su celeridad y su altura. El vaciado, en cambio, es flujo gradualmente variado, que es exactamente lo que la onda difusiva describe bien. Simular una rotura con este motor daría un resultado tranquilizador y falso.

19.4 · El diagnóstico de los 12,98 metros

Durante la validación, el informe declaraba un **calado máximo fuera de cauce de 12,98 metros**. Es una cifra imposible para una inundación pluvial urbana y habría destruido la credibilidad del módulo ante cualquier técnico.

La localización del problema

La celda más profunda se situaba en 38,43148 / -0,44299, a **treinta y cinco metros del Assut de Sant Joan**. Las siguientes caían junto al Assut del Campello. No era calado de calle: era agua embalsada tras los azudes **históricos**.

Por qué el filtro evidente no funcionaba

La solución aparente —excluir las masas de agua por su uso del suelo— no alcanzaba el problema, porque **los azudes están cartografiados en OpenStreetMap como presa, no como polígono de agua**. El filtro por clasificación no los veía.

El criterio que sí funciona

La solución aprovecha el relleno de depresiones del capítulo 17: las celdas cuyo relleno de sumideros las elevó **más de dos metros** son hoyos del modelo digital del terreno —vaso de embalse, cantera, cauce encajado aguas

arriba de un azud—. Ahí el agua llena el hoyo y produce calados enormes, reales para el hoyo pero no para la calle. **El relleno los detecta sea cual sea su etiqueta cartográfica.**

La telemetría distingue desde entonces tres categorías, y el asistente conversacional recibe las tres con la instrucción expresa de emplear siempre la primera al hablar de la población:

Tabla 19.2 — Las tres categorías de calado y su uso.

Categoría	Qué mide	Uso admitido
maxDepthM	Calado fuera de cauce	El único que puede citarse como calado de inundación. Es el que afecta a personas y edificaciones.
maxChannelDepthM	Calado dentro del cauce y masas de agua	Información hidráulica del cauce. No es calado de calle.
maxPondedDepthM	Lámina retenida en cubetas del terreno	Diagnóstico del modelo. Alerta de que hay una cubeta llenándose.

Tabla 19.3 — Efecto medido de la corrección. Lluvia de 60 l/m² en 3 h; sólo varía el caudal del cauce.

Caudal	Fuera de cauce (antes)	Fuera de cauce (corregido)	Cauce	Cubetas
150 m³/s	1,50 m	1,50 m	11,88 m	0,16 m
350 m³/s	9,75 m	2,39 m	12,52 m	9,75 m
700 m³/s	11,84 m	2,86 m	13,22 m	11,84 m

El calado que se comunica hoy ante un caudal de 700 m³/s es de 2,86 m en lugar de 11,84 m. La cifra alta no era un error de cálculo —el agua está realmente ahí— sino un error de *atribución*: se estaba presentando la lámina de un embalse como si fuera el agua en la calle.

LA LECCIÓN METODOLÓGICA

Este caso ilustra el modo de trabajo que sostiene todo el documento. La hipótesis correcta —«¿y si ese calado es el de la presa?»— la formuló el responsable del proyecto a partir de su conocimiento del territorio, y se verificó localizando la celda exacta y midiendo su distancia al azud. **Ninguna cifra de este dossier procede de suponer que el modelo funciona: proceden de comprobar dónde y por qué falla.**

Peligrosidad para personas y vehículos

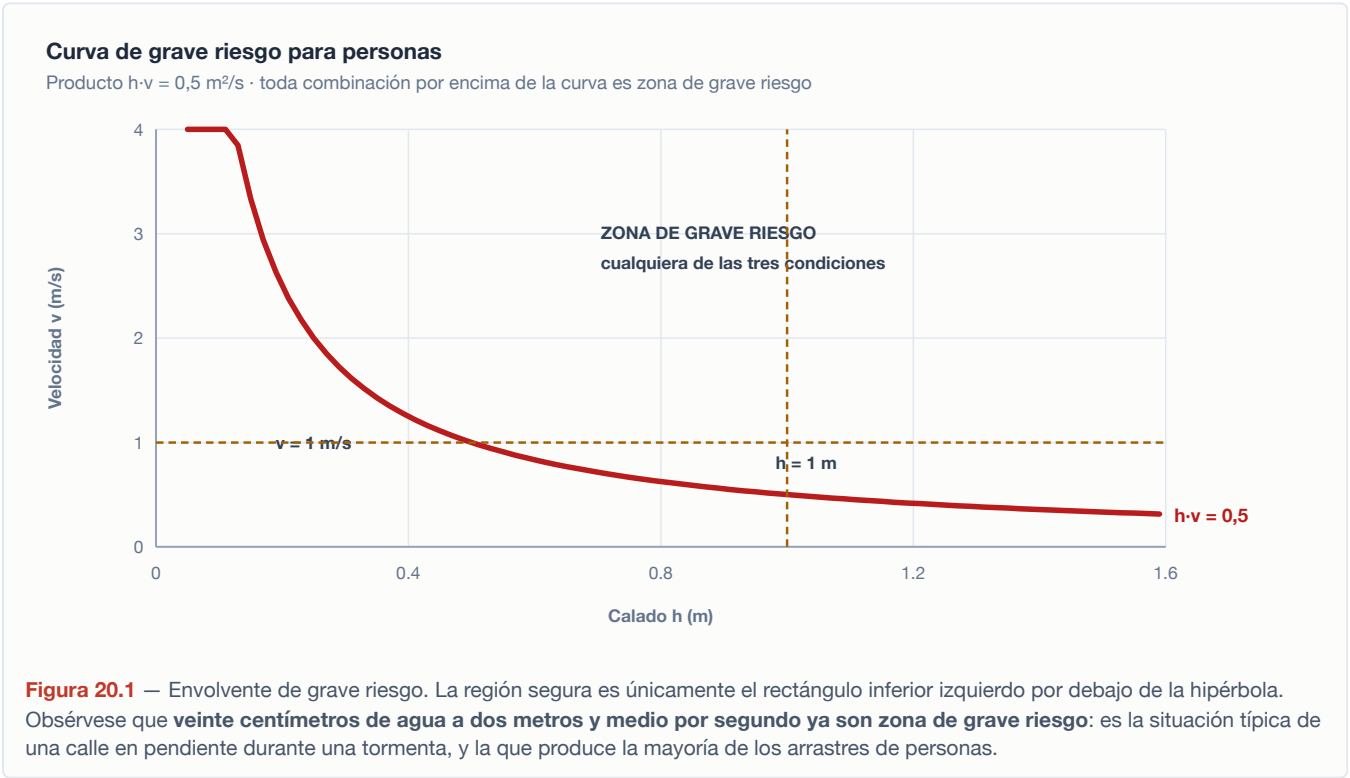
Un calado por sí solo no mide el peligro. Treinta centímetros de agua quieta son un charco; treinta centímetros a tres metros por segundo arrastran a un adulto. La magnitud que decide es el **producto del calado por la velocidad**.

20.1 · El criterio normativo

El artículo 9 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, en la redacción dada por el Real Decreto 638/2016, define el **grave riesgo para personas y bienes** mediante tres condiciones, cualquiera de las cuales basta para calificar la zona.

Tabla 20.1 — Criterios de grave riesgo del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, implementados en el motor.

Condición	Umbral	Fundamento
Calado	$h > 1,0 \text{ m}$	Por encima de un metro, la flotabilidad y la pérdida de apoyo comprometen a cualquier persona con independencia de la velocidad.
Velocidad	$v > 1,0 \text{ m/s}$	Por encima de un metro por segundo, el equilibrio se pierde incluso con calados pequeños.
Producto calado · velocidad	$h \cdot v > 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$	Condición combinada. Es la que captura las situaciones peligrosas que ninguno de los dos umbrales anteriores detecta por separado.



20.2 · Vehículos

La creencia de que un vehículo protege es la causa directa de una fracción muy alta de las víctimas mortales por inundación. La realidad hidráulica es la contraria: el vehículo flota antes de lo que su conductor supone, y una vez que flota deja de ser controlable.

Tabla 20.2 — Comportamiento de un turismo según el calado. Valores orientativos de la práctica de protección civil.

Calado	Comportamiento
15 cm	Pérdida de adherencia a velocidad moderada. El agua alcanza el escape.
30 cm	Un turismo comienza a flotar. La dirección deja de responder.
50 cm	Flotación completa y arrastre. La apertura de puertas es ya muy difícil por la presión exterior.
60 cm	Arrastre de vehículos de mayor porte, incluidos todoterrenos y furgonetas.

20.3 · El criterio de zona segura

El módulo hidráulico no se limita a marcar lo peligroso: delimita también las **zonas verdes**, aquellas en las que refugiarse o hacia las que dirigir una evacuación. Este criterio ha sido objeto de un desarrollo específico y su formulación merece explicación, porque una línea verde mal trazada es más peligrosa que la ausencia de línea.

Las tres condiciones simultáneas

Una celda pertenece a una zona segura si cumple **las tres condiciones a la vez**, ninguna de las cuales depende del resto del término:

Tabla 20.3 — Condiciones de zona segura y sus parámetros implementados.

Condición	Parámetro	Significado
Seco	$h < 50 \text{ mm}$	Calado inferior a cinco centímetros. Es un criterio para <i>permanecer</i> , no para transitar.
Dominancia	$\leq 15 \text{ m}$ bajo la cima local, buscada en un radio de 800 m	La celda debe estar en la coronación de un alto, no en su ladera.
Prominencia	$\geq 10 \text{ m}$ sobre la vaguada, buscada en un radio de 400 m	Debe haber un desnivel real respecto del entorno inmediato.

Por qué hicieron falta tres condiciones y no una

La elección no fue arbitraria. Se ensayaron y descartaron tres criterios más simples, y dejar constancia de ello evita que se reintenten:

Tabla 20.4 — Criterios ensayados y descartados, con la razón de su fracaso.

Criterio ensayado	Por qué no funciona en Mutxamel
Umbral fijo de prominencia	Mutxamel es casi todo ladera. Un umbral de +5 m marcaba el 70 % del término como seguro; uno de +20 m seguía marcando el 26 %. Ninguno discrimina.
Ranking global de prominencia	Lo domina la sierra. El Cabeçó d'Or supera los 100 m de prominencia, de modo que cualquier percentil alto se queda sólo con el monte y descarta GIALMA, que tiene +34 m. Con percentil 0,90 quedaban tres zonas y GIALMA a 1,1 km de la más próxima.
Cascos convexos	Sólo describen islas compactas. Con una masa grande que rodea valles inundados, el casco convexo se los traga y declara seguro terreno que está bajo el agua.

Los valores finales proceden de **barrer treinta y seis combinaciones** de parámetros sobre un episodio real de referencia y quedarse con la que marca una fracción manejable del término —el 5,1 %— incluyendo los altos urbanizados que debe incluir.

Certificación del criterio

Las tres condiciones se recomputaron de forma independiente de la máscara resultante, sobre tres escenarios distintos. El resultado: **cero falsos positivos**. Los extremos tocan los umbrales exactamente —prominencia mínima de +10 m frente a un umbral de $\geq 10 \text{ m}$; distancia máxima a la cima de 15 m frente a un umbral de

≤15 m; calado máximo de 49 mm frente a un umbral de <50 mm—, lo que confirma que la máscara publicada es exactamente la que define el criterio.

QUÉ NO SIGNIFICA UNA LÍNEA VERDE

Una zona marcada como segura indica únicamente que, **en el escenario simulado**, esa superficie permanece esencialmente seca y está topográficamente dominada. **No prejuzga en absoluto** su calificación urbanística, la existencia de licencia, su situación registral, ni su seguridad frente a otros riesgos. Esta advertencia figura también en la propia aplicación y debe acompañar a cualquier reproducción de estas envolventes.

VOLUMEN IV

Datos, satélites y arquitectura

De dónde procede cada cifra que consume el motor, con qué licencia, con qué resolución y con qué latencia medida; cómo se estructura la aplicación y qué garantías ofrece su infraestructura.

Capítulo 21. Fuentes de datos oficiales: procedencia, licencia, resolución y latencia

Capítulo 22. Sistemas de referencia, proyecciones y errores derivados

Capítulo 23. Observación satelital y teledetección aplicada

Capítulo 24. Arquitectura de la aplicación y capa PRO GIS V2

Capítulo 25. Rendimiento medido, seguridad e infraestructura

Fuentes de datos oficiales

Un simulador es tan bueno como los datos que consume. Este capítulo relaciona todas las fuentes, sin excepción, con la información que un evaluador necesita para juzgarlas: quién las produce, bajo qué licencia, con qué resolución, con qué frecuencia se actualizan y cuánto tardan en responder.

21.1 · Principio de diseño: sólo fuentes oficiales y abiertas

La plataforma no emplea ninguna capa cartográfica de pago ni ningún dato de procedencia privada. Esta decisión tiene dos motivos, y ambos importan para la homologación del Volumen VI:

- **Auditabilidad.** Cualquier técnico puede reproducir la consulta contra el mismo servicio público y comprobar que el dato es el que se afirma.
- **Sostenibilidad.** No hay licencia que renovar ni proveedor del que dependa la continuidad del servicio municipal.

21.2 · Inventario completo de fuentes

Tabla 21.1 — Fuentes de datos integradas. Todas ellas operan bajo licencias de datos abiertos.

Fuente	Organismo	Qué aporta	Resolución	Actualización
PNOA · Ortofoto wms-inspire/pnoa-ma	IGN · Ministerio de Transportes	Imagen aérea de máxima actualidad, base de todo el visor	25–50 cm/píxel	Bienal
MDT · Modelo digital del terreno wms-inspire/mdt	IGN · PNOA-LiDAR	Cota del terreno, base del cálculo hidráulico y de la pendiente	2–5 m	Por vuelo
SNCZI · Zonas inundables	MITECO	Cartografía oficial de peligrosidad de inundación	Vectorial	Por revisión de ARPSI
Sede Electrónica del Catastro	Ministerio de Hacienda	Geometría y referencia catastral de parcela	Vectorial	Continua
NASA FIRMS VIIRS_SNPP_NRT	NASA · EOSDIS	Focos térmicos detectados por satélite	375 m	2–4 pasadas/día
AEMET OpenData opendata.aemet.es	Agencia Estatal de Meteorología	Observación real de instrumento: temperatura, humedad, viento, racha, presión y precipitación de la estación de Alicante (8025)	Estación a 6,5 km	Horaria

Fuente	Organismo	Qué aporta	Resolución	Actualización
AEMET · avisos CAP avisos_cap	Agencia Estatal de Meteorología	Avisos oficiales de fenómenos adversos para las tres zonas de Alicante: temperaturas, lluvias, tormentas, vientos, nevadas, costeros, nieblas y polvo	Por zona Metealerta	2 boletines/día y ante cambios
Open-Meteo api.open-meteo.com	Modelo ICON · Deutscher Wetterdienst	Predicción horaria. Primer respaldo de la observación y base del parte de 24 h	Celda de malla ≈ 2 km	Cuartohoraria
met.no api.met.no	Instituto Meteorológico Noruego · base ECMWF	Segundo respaldo, sobre infraestructura independiente de la anterior	Puntual	Horaria
SAIH Júcar	Confederación Hidrográfica del Júcar	Pluviometría de la estación del término (MC Mutxamel, a 2,5 km) y de la cabecera del Monnegre (Embalse de Tibi, a 13,4 km)	Puntual	≈ 20 min
OpenStreetMap · Overpass	Comunidad OSM · ODbL	Viario, edificación, usos del suelo, infraestructuras y equipamientos	Vectorial	Continua

21.2.1 · La cascada meteorológica

La meteorología no procede de una fuente sino de **cuatro escalones encadenados**, y el orden no es caprichoso: encabeza la única que entrega una medición de instrumento, y las siguientes son modelos numéricos sobre infraestructuras independientes entre sí.

Tabla 21.2 — Cascada de fuentes meteorológicas. El primer escalón que responde es el que sirve el dato.

Nº	Fuente	Naturaleza	Por qué está en esa posición
1	AEMET	Medición real	Es la agencia estatal y la única fuente con valor administrativo. Su observación procede de un instrumento, no de un modelo. Se publica cada hora, de modo que puede tener hasta sesenta minutos de antigüedad: la plataforma muestra siempre la hora exacta de la medida.
2	Open-Meteo · ICON	Modelo numérico	Máxima resolución disponible para este punto. Actualización cuartohoraria, más frecuente que la observación.
3	met.no · ECMWF	Modelo numérico	Infraestructura totalmente independiente de la anterior: si cae una, la otra sigue en pie. El contraste entre ambos modelos para este punto fue de 0,1 °C.
4	Última lectura real	Dato real cacheado	Un dato que fue cierto hace un rato sigue siendo información legítima <i>siempre que su antigüedad se declare</i> , y así se hace.

Nº	Fuente	Naturaleza	Por qué está en esa posición
—	Sin dato	Ninguna cifra	Si nada responde, la plataforma no inventa nada : conserva los parámetros que tuviera el operador y lo declara en pantalla.

DOS PRECISIONES QUE CONVIENE HACER ANTES QUE EL EVALUADOR

Open-Meteo no es un satélite, pese a lo que sugería la denominación heredada de versiones anteriores. Es un agregador de modelos numéricos; para las coordenadas de Mutxamel sirve el modelo **ICON** del servicio meteorológico alemán, comprobado forzando el modelo y sin forzarlo y obteniendo el mismo valor. Ese modelo *asimila* observación satelital junto con estaciones, radiosondeos, radar y aeronaves, pero **la cifra que llega es salida de modelo en una celda de malla**. La celda no coincide además con el punto solicitado: está a unos dos kilómetros del ayuntamiento.

Observación y predicción no son lo mismo, y la interfaz los distingue. Cuando el dato procede de AEMET, la plataforma rotula «Observación oficial» con la hora exacta de la medida; cuando procede de un modelo, rotula «Predicción». La diferencia importa: un modelo puede equivocarse en el instante actual, un termómetro no.

EL RÍO MONNEGRE NO ESTÁ AFORADO

Verificado estación por estación contra la red real del SAIH Júcar: **no existe estación de aforo en el río Monnegre o Seco**. En la provincia de Alicante el sistema afora Amadorio, Guadalest, Beniarrés, Isbert, Gallinera y Sax. **El caudal del Monnegre no es un dato público**.

Tiene dos consecuencias que conviene no esquivar. La primera, que el caudal de entrada del módulo hidráulico (capítulo 19) **sólo puede introducirse manualmente** o estimarse: no hay telemetría que lo alimente. La segunda, que la solicitud a la Confederación de la Tabla 34.2 pasa a ser más importante de lo previsto, porque no se trata de conectar un servicio existente sino de obtener un dato que hoy no se publica.

Lo que sí aporta el SAIH, y es valioso, es **pluviometría real con estación a 2,5 km del término** y otra en el **Embalse de Tibi, en la cabecera de la cuenca**. Esta última es la lluvia que horas después baja por el cauce: como *indicador anticipado* de la avenida vale más que el caudal medido aguas abajo, porque llega antes. El volumen embalsado de Tibi tampoco figura en el SAIH: la presa la gestiona el Sindicato de Riegos de la Huerta de Alicante, no el organismo de cuenca.

21.2.2 · Avisos oficiales de AEMET

EL ÚNICO DATO DE LA PLATAFORMA CON VALOR JURÍDICO OPERATIVO

Todo lo demás que sirve esta aplicación —incluidos los dos motores físicos completos de los Volúmenes II y III— es **apoyo a la decisión**. Los avisos de AEMET no: son la **declaración oficial de la agencia estatal**, y son los que activan los protocolos de protección civil. De ahí que se presenten de forma distinta a cualquier otro dato y que su tratamiento sea el más conservador de toda la plataforma.

La plataforma consume los avisos en formato **CAP** (Common Alerting Protocol), el estándar internacional de alertas, para las tres zonas Meteocalerta de la provincia de Alicante.

Tabla 21.3 — Zonas de aviso de la provincia y fenómenos cubiertos.

Código	Zona Meteoalerta	Relación con Mutxamel
770301	Litoral norte de Alicante	Zona propia del término municipal. Sus avisos se destacan de forma diferenciada.
770302	Interior de Alicante	Contigua por el interior. Se muestra por contexto comarcal.
770303	Litoral sur de Alicante	Contigua por el sur, incluye la ciudad de Alicante.

Se presentan las tres porque un municipio situado en el límite entre zonas necesita ver también las contiguas, y porque el mando agradece el contexto provincial. Fenómenos cubiertos: temperaturas máximas y mínimas, lluvias, tormentas, vientos, nevadas, fenómenos costeros, nieblas y polvo en suspensión.

Cómo se comporta la franja de avisos

Tabla 21.4 — Reglas de presentación de los avisos, en orden de importancia.

Nº	Regla	Razón
1	Sin riesgo, la franja no aparece	Un indicador permanente en verde enseña al operador a ignorar esa zona de la pantalla, y el día que se ponga naranja tampoco la mirará. La franja sólo existe cuando hay algo que decir.
2	Si AEMET no responde, se declara	«No he podido preguntar» y «no hay aviso» son cosas distintas, y confundirlas es peligroso. La plataforma nunca presenta la ausencia de avisos como si estuviera confirmada.
3	El nivel gobierna la presentación	Color, orden y parpadeo —éste sólo en rojo— siguen el nivel Meteoalerta: amarillo, naranja o rojo.
4	La zona propia se destaca	Un aviso para el Litoral norte de Alicante se muestra en primer plano; los de las zonas contiguas se resumen.
5	Se cita el boletín y su hora	Permite comprobar contra la fuente y detectar si el dato está estancado.

Cada aviso se presenta con su fenómeno, umbral, franja horaria de vigencia, zonas afectadas y probabilidad declarada por AEMET. Ejemplo real recogido durante la redacción de este documento: «Aviso amarillo · Temperaturas máximas · 36 °C · hoy 12:00–19:59 · Litoral norte de Alicante (40 %-70 %)».

21.3 · La regla de no fabricar datos

UN DATO INVENTADO ES PEOR QUE NINGÚN DATO

En una herramienta de emergencias, una cifra fabricada que parece una medición es el peor resultado posible: no se distingue de la buena, no avisa de su condición y puede sostener una decisión equivocada. Ninguna ruta de código de esta plataforma devuelve hoy un valor inventado. Cuando un servicio no responde, se dice que no responde.

Esta regla no es una declaración de intenciones: se adoptó tras encontrar y corregir cuatro incumplimientos reales. Se relacionan aquí con nombre y apellidos porque un evaluador que audite el código los encontraría en el historial, y porque la forma de corregirlos dice más del sistema que su enunciado.

Tabla 21.5 — Los cuatro casos corregidos y su tratamiento actual.

Dónde	Qué devolvía al fallar	Qué hace ahora
Caudal del Monnegre	1,2 m³/s y estado «NORMAL», presentados en pantalla como telemetría en vivo. El servicio ni siquiera	Pluviometría real del SAIH y declaración expresa de que el caudal no es un dato público porque el cauce no está aforado.
PREVISIO · Dossier Técnico ·	existía; devolvía error en cada MP-3.7-331e9102 · emitido el 6 de septiembre de 2026 · PREVISIO v 1.0 · Creada por INTELLIGENTIA.dev carga.	

Dónde	Qué devolvía al fallar	Qué hace ahora
Condiciones meteorológicas	32,5 °C, 22 % de humedad y viento de poniente, rotulados como «Satelital Sincronizado». El cliente no comprobaba el campo que los marcaba como sustitutos.	Cascada de cuatro fuentes reales (Tabla 21.2). Si ninguna responde, conserva los parámetros del operador y lo declara.
Parte meteorológico de 24 h	El caso más grave. Generaba veinticuatro horas de predicción con ruido aleatorio para que resultara verosímil, sin ningún campo que permitiera distinguirla, y el resultado se exportaba en un PDF destinado a un expediente municipal.	Predicción real de la cascada. Si no la hay, el informe lleva impreso en su cabecera «Documento sin validez: no contiene una predicción meteorológica» .
Focos térmicos satelitales	La consulta se hacía desde el navegador y la bloqueaba la política de origen cruzado: nunca funcionó, y la lista vacía era indistinguible de «el satélite no ve nada».	Consulta desde servidor. La ausencia de focos se distingue de la ausencia de consulta.

Cómo se aplica la regla

Tabla 21.6 — Jerarquía de respuesta común a todas las fuentes.

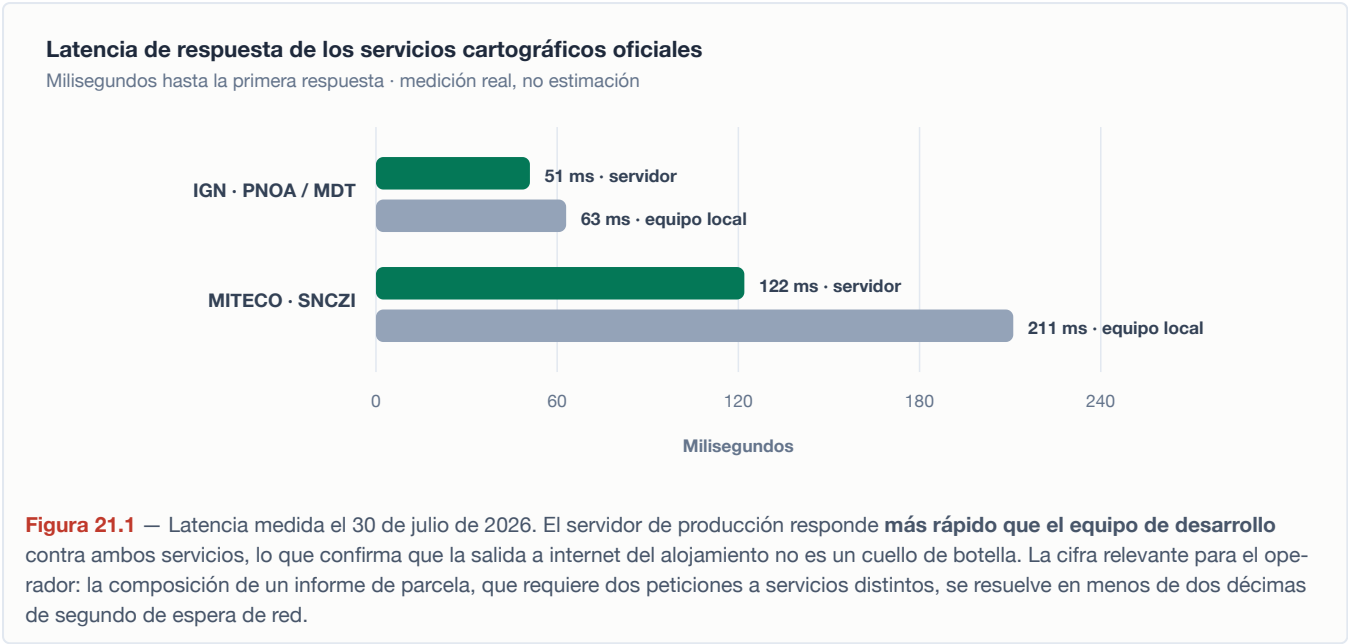
Nº	Situación	Respuesta de la plataforma
1	La fuente responde	Se sirve el dato declarando su procedencia: observación de instrumento o salida de modelo, y de qué organismo.
2	La fuente no responde, hay lectura reciente	Se sirve la última lectura real, con su antigüedad en minutos . Un dato que fue cierto hace un rato sigue siendo información legítima si se dice cuándo se tomó.
3	Nada responde y no hay caché	No se sirve ninguna cifra. Se conserva lo que tuviera el operador y se declara la situación en pantalla.

LA DISTINCIÓN QUE SOSTIENE TODO LO ANTERIOR

«No he podido preguntar» y «no hay nada que informar» son cosas distintas. Confundirlas es lo que convierte una herramienta de apoyo en un riesgo: un operador que ve «sin avisos» cuando en realidad el sistema no ha logrado consultarlos toma una decisión sobre una certeza que no existe. Toda la arquitectura de datos de este volumen está construida sobre esa diferencia.

21.4 · Latencia medida contra los servicios oficiales

La latencia no es un detalle de rendimiento: determina si la plataforma sirve durante una emergencia. Se ha medido contra los servicios reales, tanto desde el servidor de producción como desde un equipo de desarrollo doméstico.



21.5 · Peticiones en paralelo

El informe de parcela necesita dos capas de dos organismos distintos: la ortofoto del IGN y la mancha de peligrosidad del MITECO. Solicitarlas secuencialmente sumaría ambas latencias. El servidor las pide **simultáneamente**, de modo que el tiempo total es el de la más lenta, no la suma.

21.6 · Los servicios propios de la plataforma

Entre el navegador y las fuentes oficiales se interponen los servicios propios de la aplicación, que resuelven tres funciones: adaptar formatos, mantener las credenciales fuera del cliente y evitar las restricciones de origen cruzado de los servicios externos.

Tabla 21.7 — Servicios propios de la aplicación.

Servicio	Función
api/get_terrain_grid.php	Sirve la malla de elevaciones del término, base del módulo hidráulico y del cálculo de pendientes.
api/get_land_cover.php	Usos del suelo, de los que salen el umbral de escorrentía y la rugosidad de la Tabla 16.1.
api/get_road_network.php	Red viaria para el cálculo de rutas de evacuación y de kilómetros de vía cortada.
api/get_infrastructures.php	Equipamientos sensibles: centros escolares, sanitarios, residencia, polideportivo.
api/get_electrical_grid.php	Red eléctrica, para la valoración de corte de suministro.
api/get_zones.php	Zonificación del término y núcleos de población.
api/get_firms_hotspots.php	Focos térmicos satelitales, obtenidos desde servidor.
api/get_weather_forecast.php · get_satellite_weather.php	Predicción y observación meteorológica.
api/get_soil_moisture.php	Humedad del suelo, entrada del estado antecedente del módulo hidráulico.
api/get_nasa_flood_satellite.php	Productos satelitales de inundación.
api/check_flood_zone.php	Consulta puntual: dice si una coordenada cae dentro de la mancha oficial de peligrosidad.

Servicio	Función
api/parcel_map.php	Compone el informe gráfico de parcela: ortofoto, mancha SNCZI, cruz de situación y escala.
api/save_simulation.php · init_db.php	Persistencia del escenario simulado con sus parámetros.
api/consultar_saih.php	Pluviometría real del SAIH Júcar en el término y en la cabecera del cauce. Declara expresamente que el caudal del Monnegre no es un dato público.
api/get_avisos_aemet.php	Avisos oficiales de AEMET en formato CAP para las tres zonas de Alicante. Interpreta el archivo del boletín sin depender de extensiones opcionales de PHP. Apartado 21.2.2.
api/lib/meteo.php	Biblioteca de la cascada meteorológica: AEMET, Open-Meteo/ICON, met.no y caché de la última lectura real. Tabla 21.2.
chat_ai.php	Asistente conversacional, con el estado de la simulación en curso como contexto.

Sistemas de referencia y proyecciones

Este capítulo trata una fuente de error que rara vez se documenta y que produce equivocaciones de centenares de metros: la mezcla inadvertida de sistemas de referencia. Un evaluador cartográfico preguntará por ello.

22.1 · Los sistemas que intervienen

Tabla 22.1 — Sistemas de referencia presentes en la cadena de datos.

Código	Sistema	Dónde aparece	Observación
EPSG:4326	WGS84 geográficas	Coordenadas de trabajo interno, GPS, NASA FIRMS	Latitud y longitud en grados. Es el sistema en que se expresan todas las coordenadas de este documento.
EPSG:25830	ETRS89 / UTM huso 30N	Cartografía oficial española	Sistema oficial en España peninsular desde el RD 1071/2007. Es el que emplean IGN, Catastro y las confederaciones.
EPSG:3857	Pseudo-Mercator	Teselas del visor cartográfico	Proyección de las bases de mapa web. No debe emplearse para medir.
ED50	European Datum 1950	Cartografía histórica anterior a 2007	Sistema derogado. La diferencia respecto de ETRS89 en esta latitud es de más de doscientos metros.

EL ERROR DE LOS DOSCIENTOS METROS

Superponer una capa en ED50 sobre una base en ETRS89 sin transformar desplaza la información **más de doscientos metros** en el sudoeste peninsular. Es más que la anchura del casco urbano de Mutxamel. Cualquier plano municipal anterior a 2007 que se incorpore a un análisis debe transformarse expresamente; la plataforma sólo consume servicios INSPIRE actuales, que ya sirven en ETRS89.

22.2 · Por qué no se mide sobre Mercator

La proyección Pseudo-Mercator que emplean todos los visores web tiene una propiedad incómoda: la escala **no es constante**, sino que crece con la latitud según el inverso de su coseno. En la latitud de Mutxamel:

$$k = 1 / \cos(\varphi) = 1 / \cos(38,416^\circ) = 1,2763 \tag{22.1}$$

Factor de escala de la proyección Mercator en la latitud del término municipal.

Es decir: **una distancia medida directamente sobre la proyección resulta un 27,6 % mayor que la real**. Un kilómetro sobre el plano son 784 metros sobre el terreno. Un error de esa magnitud en un tiempo de evaluación es inaceptable.

Por eso todas las distancias del motor se calculan con la **fórmula del haversine** sobre coordenadas geográficas, que devuelve la distancia sobre la esfera y no depende de proyección alguna:

$$d = 2 \cdot R \cdot \arcsen \sqrt{ \sen^2(\Delta\varphi/2) + \cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \sen^2(\Delta\lambda/2) } \tag{22.2}$$

R = radio terrestre medio. El error frente a la distancia elipsoidal es inferior al 0,5 % y despreciable a escala municipal.

22.3 · La celda del modelo hidráulico

La malla de cálculo se define en coordenadas geográficas, lo que hace que las celdas no sean exactamente cuadradas: un grado de longitud mide menos que un grado de latitud, y la diferencia crece con la latitud. El motor **conserva las dos dimensiones por separado** —anchura y altura de celda— y las emplea de forma diferenciada en la ecuación (17.1), tanto en la anchura de la cara como en la distancia entre centros.

Tabla 22.2 — Dimensiones de la celda de cálculo en la latitud del término.

Magnitud	Valor	Consecuencia
Longitud de un grado de latitud	≈ 111.320 m	Constante en toda la Tierra
Longitud de un grado de longitud a 38,416° N	≈ 87.221 m	Un 21,6 % menor
Lado de celda representativo	77 × 50 m	Es el valor que entra en la condición de Courant (18.1)

CAPÍTULO 23

Observación satelital

La detección satelital de incendios es una de las capacidades más vistosas de la plataforma y, por eso mismo, la que más conviene describir con precisión: sus límites son tan importantes como sus prestaciones.

23.1 · Qué detectan realmente los satélites

Los sensores empleados **no ven fuego**: miden la **radiancia en el infrarrojo medio y térmico**. Un algoritmo compara la temperatura de brillo de cada píxel con la de su entorno y, cuando la anomalía supera un umbral, declara un foco térmico. De ahí se derivan tres consecuencias que deben conocerse.

Tabla 23.1 — Sensores empleados y sus características.

Producto	Plataforma	Resolución	Pasadas diarias	Aportación
VIIRS I-band VIIRS_SNPP_NRT	Suomi NPP	375 m	2	Producto principal. Detecta focos notablemente menores que su propio píxel.
MODIS	Terra y Aqua	1.000 m	2–4	Serie histórica larga; complementa la cobertura temporal.

23.2 · Los tres límites que hay que declarar

Latencia

Entre la pasada del satélite y la publicación del dato median entre **tres y cinco horas** en el servicio de tiempo casi real. Un incendio detectado por satélite lleva, casi siempre, horas ardiendo. **La detección satelital no es un sistema de alerta temprana municipal**: el aviso vecinal y el 112 son mucho más rápidos. Su valor real es distinto y doble: confirmar la posición exacta de un foco ya conocido, y detectar focos en zonas sin población que nadie ha visto.

Falsos positivos

Cualquier anomalía térmica intensa produce detección: antorchas industriales, hornos, plantas de asfalto, superficies metálicas muy calientes, quemas agrícolas autorizadas. Por eso la plataforma **no convierte automáticamente un foco satelital en una ignición simulada** salvo que esté muy próximo al término, y en todo caso el operador debe confirmarlo.

Nubosidad

El infrarrojo térmico no atraviesa la nube densa. Precisamente en los episodios de tormenta seca —los que producen incendios por rayo— la cobertura puede impedir la detección.

Tabla 23.2 — Parámetros de configuración de la asimilación satelital.

Parámetro	Valor	Justificación
Radio de barrido alrededor de Mutxamel	50 km	Cubre la comarca de l'Alacantí y el interior próximo sin llenar el mapa de focos ajenos al ámbito de interés.
Radio de propuesta automática de ignición	15 km	Sólo un foco muy próximo se propone como ignición del simulador. El resto se muestran como información.
Ventana temporal de consulta	24 h	Compromiso entre cobertura de pasadas y vigencia del dato.

23.3 · La información que acompaña a cada foco

Cada detección llega con su **temperatura de brillo** en kelvin, su nivel de **confianza** asignado por el algoritmo de la NASA y su **hora de adquisición**. La plataforma los presenta los tres, en lugar de mostrar un punto rojo sin contexto: un foco de confianza baja y temperatura moderada merece un tratamiento distinto de uno de confianza alta.

SOBRE COPERNICUS Y EL RADAR

Para la validación posterior de episodios —no para la operación en vivo— la referencia es el programa **Copernicus** de la Unión Europea, cuyos satélites Sentinel-1 (radar) y Sentinel-2 (óptico) permiten delimitar la superficie realmente quemada o inundada. El radar tiene la ventaja decisiva de **atravesar la nube**, lo que lo hace el instrumento de referencia para cartografiar una inundación. El contraste de la huella simulada frente a estas imágenes es el procedimiento de validación previsto en el capítulo 27 y constituye el primer hito del itinerario de homologación del Volumen VI.

23.4 · Las capas ráster del módulo de inundación

Además de los focos térmicos, el simulador de inundaciones consume imagen ráster del servicio **GIBS** (*Global Imagery Browse Services*) de la NASA, un WMTS público que no exige autenticación. Son capas de **contexto**: no alimentan el cálculo hidráulico —que se resuelve sobre el modelo digital del terreno según el capítulo 15— sino que permiten contrastar la huella simulada con lo que los sensores vieron sobre el terreno.

Tabla 23.3 — Capas ráster de la NASA disponibles en el módulo de inundación.

Capa	Producto	Zoom nativo	Latencia típica	Uso previsto
Inundación MODIS MODIS_Combined_Flood_3-Day	Terra + Aqua	9	1–2 días	Compuesto de tres días: lámina de agua persistente tras el episodio.
Inundación VIIRS VIIRS_Combined_Flood_3-Day	Suomi NPP	9	1–2 días	Mismo compuesto con sensor de mayor resolución; se contrastan entre sí.
Precipitación IMERG_Precipitation_Rate	GPM	6	1–2 días	Intensidad de lluvia observada desde satélite; contraste del hietograma.
Humedad del suelo SMAP_L4_Analyzed_Surface	SMAP	6	2–4 semanas	Estado antecedente del suelo. No es dato del día : su antigüedad se rotula siempre.
Color real MODIS_Terra_..._TrueColor	Terra	9	1 día	Imagen de referencia; permite juzgar si había nube sobre la comarca.

La regla de la fecha publicada

El catálogo de GIBS anuncia el día en curso como disponible desde las 00:00 UTC, pero las teselas de los productos casi en tiempo real tardan horas en publicarse. Pedirlas antes devuelve un error 404 y la capa aparece **vacía**, que es la peor de las respuestas posibles: un mapa en blanco es indistinguible de «aquí no hay inundación». La plataforma aplica por ello dos reglas, coherentes con el principio de no fabricar datos del apartado 21.3:

- 1. **Tope de fecha.** Nunca se solicita una fecha posterior al último día que puede darse por publicado, con independencia de lo que anuncie el catálogo.

2. **Retroceso automático.** Si aun así el producto no está disponible, se retrocede día a día —hasta tres— hasta encontrar la última imagen real, y **se rotula la fecha efectivamente servida**, no la solicitada.

La consecuencia visible es que junto a cada capa figura siempre su antigüedad real («dato de ayer», «hace 24 días»), en verde cuando el producto es de tiempo casi real y en naranja cuando no lo es. Un técnico municipal debe poder saber de un vistazo si está viendo el episodio en curso o una imagen de hace semanas.

24.1 · Principios

La aplicación se ejecuta íntegramente en el navegador del usuario, apoyada en un servidor que actúa como intermediario con las fuentes oficiales. No requiere instalación, ni complemento, ni permisos de administrador en el equipo municipal.

Tabla 24.1 — Componentes principales.

Componente	Responsabilidad	Contenido relevante
app.php	Interfaz	Estructura de la aplicación, paneles, controles y orden de carga.
index.php	Portada	Página pública de entrada: escenas sobre el mapa en vivo del término.
js/simulator.js	Motor de incendios	Todo el Volumen II: Rothermel, Byram, Van Wagner, Simard, Alexander, evacuación direccional, rutas.
js/map.js	Cartografía	Visor, capas, sistema único de marcadores, efectos de representación del fuego.
js/app.js	Controlador	Coordinación de módulos, telemetría, informes exportables.
js/flood/floodSimulator.js	Motor hidráulico	Todo el Volumen III: preparación del terreno, Témez, propagación, estabilidad, telemetría de calados.
js/flood/floodWorker.js	Cálculo en segundo plano	Ejecuta el bucle hidráulico fuera del hilo de interfaz y reenvía la línea de tiempo con las tres categorías de calado.
js/flood/floodApp.js	Visor de inundaciones	Interfaz del módulo, envolventes de zona segura y crítica, escenarios.
js/flood/floodFX.js · floodLayers.js	Representación	Lámina de agua, rampa de calados, capas de resultado.
js/core/moduleBus.js	Comunicación	Canal entre los dos módulos, que permite conmutar sin recargar.
js/core/interfaz.js · css/interfaz.css	Capa de interfaz	Ventanas desplazables y redimensionables, temas y modo presentación.
js/pro_gis/	Extensión PRO GIS V2	Capa desacoplada descrita en el apartado 24.3.

24.2 · Separación entre cálculo y representación

Es la decisión arquitectónica más importante y la que hace posible la auditoría. Los motores físicos **no saben nada de la pantalla**: reciben parámetros, devuelven geometría y telemetría. La representación es una capa distinta que consume esa salida.

La consecuencia práctica es que **el motor puede ejecutarse y verificarse sin interfaz**, que es exactamente lo que se hace en el capítulo 26 y lo que permitiría a un perito independiente contrastar los resultados sin depender del aspecto visual de la aplicación. Este documento es prueba de ello: todas las figuras de los Volúmenes II y III se han generado ejecutando las mismas ecuaciones fuera de la aplicación.

24.3 · La capa PRO GIS V2

La extensión PRO GIS V2 agrupa, en un directorio propio y completamente desacoplado, los servicios de datos en vivo y los módulos auxiliares de análisis territorial. Su diseño responde a un requisito explícito: **poder re-vertirse por completo**.

Tabla 24.2 — Módulos de la capa PRO GIS V2 y función exacta de cada uno.

Módulo	Qué calcula o resuelve	Método implementado
<code>pro_gis_config.js</code>	Configuración central y bandera maestra de reversibilidad	Declara los extremos de servicio, el ámbito de coordenadas del término y el interruptor global.
<code>live_open_data.js</code>	Conexión con los servicios de datos abiertos	Consulta NASA FIRMS por área y periodo, interpreta el fichero de valores separados por comas y devuelve la lista de focos con su temperatura de brillo, confianza y hora. La consulta se realiza desde el servidor : hacerla desde el navegador la bloqueaba la política de origen cruzado —de modo que nunca llegó a funcionar— y además obligaba a llevar la clave en el cliente, donde es pública de hecho. La telemetría hidrológica se consulta en <code>api/consultar_saih.php</code> , que nunca devuelve valores de relleno.
<code>sat_firms_layer.js</code>	Representación cartográfica de los focos satelitales	Capa de marcadores circulares con ficha emergente por foco: satélite, coordenadas, temperatura de brillo, confianza y detección.
<code>micro_topography_lidar.js</code>	Cota aproximada del terreno en un punto	Perfil analítico suavizado del término, calibrado entre los 40 m de la vega y los 450 m de la sierra. <i>No consulta el servicio MDT del IGN</i> : es una aproximación de bajo coste para contextos donde no se requiere la cota exacta. El cálculo hidráulico no emplea esta función, sino la malla de elevaciones real de <code>api/get_terrain_grid.php</code> .
<code>wind_ninja_microclimate.js</code>	Corrección local del vector de viento por efecto del relieve	Reglas topográficas por zona : encauzamiento a lo largo del eje del barranco del Monnegre —desvío de 15° y aceleración del 25 %— y aceleración del 40 % en las crestas del sector noroeste. Es un modelo heurístico de dos regiones, <i>no</i> una resolución del campo de vientos por dinámica de fluidos.
<code>webgpu_hydraulic_engine.js</code>	Velocidad de escorrentía en viario y detección de aceleración por hardware	Aplica Manning con rugosidad de calle ($n = 0,018$) para estimar la velocidad de la lámina en función del calado y la pendiente, acotada a 6,5 m/s. Comprueba la disponibilidad de aceleración gráfica en el navegador. <i>La malla hidráulica del término la resuelve</i> <code>js/flood/floodSimulator.js</code> , descrito en el Volumen III.

PRECISIÓN SOBRE EL ALCANCE DE ESTA CAPA

Se describe con este detalle por una razón de método: **el nombre de un módulo no es una declaración de capacidad**, y un dossier destinado a una evaluación técnica debe decir qué resuelve cada pieza y con qué método, no qué sugiere su nombre. Los tres módulos auxiliares —topografía, microclima e hidráulica de viario— son **aproximaciones de apoyo**, no los motores de cálculo del sistema.

Los motores que producen los resultados de este documento son los dos descritos en los Volúmenes II y III: `js/simulator.js` y `js/flood/floodSimulator.js`. La sustitución de las tres aproximaciones anteriores por sus equivalentes rigurosos —consulta del MDT del IGN, resolución del campo de vientos con conservación de masa y cálculo hidráulico acelerado por hardware— figura en la hoja de ruta del capítulo 30.

24.4 • Reversibilidad

Toda la extensión está condicionada a una **bandera global única**. Estableciéndola en falso, la totalidad de los servicios de la capa se omite y la aplicación opera exactamente con su comportamiento anterior. La deflexión dinámica del frente por giro del viento tiene, además, su propio interruptor independiente.

POR QUÉ LA REVERSIBILIDAD ES UN REQUISITO Y NO UNA COMODIDAD

En un sistema destinado a apoyar decisiones de emergencia, la capacidad de volver en segundos a una configuración conocida y estable es una **medida de seguridad**. Si durante un episodio real un servicio externo se comporta de forma anómala, el operador no necesita diagnosticar: desactiva la capa y continúa con el motor base, que no depende de ninguna conexión.

25.1 · Entorno de ejecución verificado

Los requisitos del servidor se han comprobado sobre el alojamiento real de producción, no supuesto, mediante un script de diagnóstico ejecutado el 30 de julio de 2026 y retirado después.

Tabla 25.1 — Entorno verificado en producción.

Elemento	Valor comprobado	Uso en la plataforma
Versión de PHP	8.2.31	Ejecución de los servicios y de este propio documento
Biblioteca gráfica GD	2.1.0 con PNG, JPEG y FreeType	Composición del informe gráfico de parcela
Funciones gráficas requeridas	17 de 17 disponibles	Superposición de capas, cruz de situación, escala y rótulos
Peticiones en paralelo	Disponible	Solicitud simultánea de las dos capas WMS del capítulo 21
Memoria por proceso	640 MB	Holgado para la malla fina de elevaciones
Tiempo máximo de ejecución	60 s	Suficiente con amplio margen para la composición más pesada
Prueba real de composición	Superada	Generación de PNG y JPEG, lectura de píxel y de canal alfa correctas

25.2 · Rendimiento del cálculo

Tabla 25.2 — Comportamiento medido de los dos motores.

Magnitud	Valor	Comentario
Respuesta del motor de incendios	Inmediata	El perímetro se resuelve de forma analítica para cualquier instante, sin iterar.
Escala temporal del reproductor	1× a 600×	Modificable durante la reproducción; verificada con precisión del 100 % en el módulo hidráulico.
Superficie visible de mapa	59,3 %	Medida en pantalla de 1920×1080 tras el rediseño de interfaz; anteriormente era del 49,8 %.
Error de las tablas de potencias	< 0,01 %	Dos órdenes de magnitud por debajo de la incertidumbre del modelo.

25.3 · Seguridad

Tabla 25.3 — Medidas de seguridad y su fundamento.

Medida	Descripción y fundamento
Cifrado en tránsito	Toda la comunicación se realiza sobre TLS. Es requisito del Esquema Nacional de Seguridad para cualquier sistema del sector público.
Credenciales fuera del cliente	Todas las claves residen en un único fichero de servidor, nunca en código que se descarga al navegador. Verificado: no aparece ninguna credencial en los ficheros servidos al cliente. Se corrigió una clave de servicio satelital que sí viajaba en JavaScript —y era por tanto pública de hecho, aunque el servicio la considere gratuita—, trasladando la consulta al servidor. Esta comprobación debe repetirse en cada despliegue (capítulo 42).

Medida	Descripción y fundamento
Verificación de certificado	Todas las llamadas salientes validan el certificado del servicio y el nombre de máquina. Se corrigieron tres puntos que la tenían desactivada , uno de ellos en la petición que transporta la clave del asistente conversacional: aceptar cualquier certificado la exponía a interposición.
Endurecimiento del alojamiento	Reglas de servidor que bloquean el fichero de secretos, el script de diagnóstico, los prototipos y las bibliotecas internas, desactivan el listado de directorios y añaden las cabeceras de seguridad habituales. Son una segunda barrera para el supuesto de que PHP deje de ejecutarse por un error de despliegue: sin ellas, el servidor entregaría el código fuente en texto plano.
Ausencia de datos personales	El censo de afectados es estadístico por zona, no nominal. El chat vecinal opera con alias anónimo y sin registro. No hay tratamiento que requiera consentimiento. Capítulo 37.
Residencia de los datos	La infraestructura de producción está alojada en Suiza. Véase el apartado 25.4, donde se analiza el régimen jurídico que ello implica.
Separación de entornos	Los prototipos y ficheros de diagnóstico no se publican en producción; el script de comprobación del entorno se sube, se consulta y se retira.
Degradación controlada	Si un servicio externo no responde, el módulo correspondiente informa y continúa con valores de reserva declarados, en lugar de detener la aplicación durante una emergencia.

25.4 · Infraestructura de alojamiento

La plataforma se aloja en centros de datos situados en **Suiza**, operados por un proveedor europeo especializado en alojamiento de alta disponibilidad. Esta circunstancia tiene consecuencias técnicas y jurídicas que conviene exponer con precisión, porque es una de las cuestiones que un servicio jurídico municipal examinará.

Tabla 25.4 — Características de la infraestructura de alojamiento.

Aspecto	Descripción
Localización	Centros de datos en territorio suizo, con réplica en varias zonas de disponibilidad.
Certificación del proveedor	Sistemas de gestión certificados en seguridad de la información y en gestión de la energía, conforme a las normas ISO correspondientes. La certificación es del proveedor de alojamiento, no de la aplicación : son cosas distintas y no deben presentarse como una sola.
Cifrado en tránsito	TLS en versión actual entre el puesto de operación y el servidor, con cifrado simétrico de 256 bits.
Sostenibilidad	Alimentación con energía renovable, refrigeración de alta eficiencia.
Disponibilidad	Compromiso de servicio del proveedor con redundancia geográfica dentro del territorio suizo.
Salida a los servicios oficiales	Medida y verificada: más rápida que desde un equipo de desarrollo doméstico. Figura 21.1.

EL PUNTO JURÍDICO QUE HAY QUE EXPLICAR BIEN

Suiza **no pertenece a la Unión Europea**. Alojar allí datos personales constituye, técnicamente, una transferencia internacional en el sentido del capítulo V del Reglamento General de Protección de Datos.

Ahora bien, la Comisión Europea **reconoce a Suiza un nivel adecuado de protección** mediante decisión de adecuación, de modo que la transferencia **no requiere garantías adicionales** —ni cláusulas contractuales tipo, ni evaluación de impacto de la transferencia—. A ello se suma que la legislación suiza de protección de datos ha sido revisada para mantener esa equivalencia. La respuesta correcta ante el servicio jurídico municipal no es «los datos están en Europa», que sería inexacto, sino: «**están en Suiza, país con decisión de adecuación, y además la plataforma está diseñada para no tratar datos personales**», según el análisis del apartado 37.1.

NOTA PARA EL DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA MUNICIPAL

Si el Ayuntamiento incorpora la plataforma a sus sistemas de información, deberá categorizarla conforme al Esquema Nacional de Seguridad. Por su naturaleza —sistema de apoyo a la decisión, sin datos personales, sin efectos jurídicos directos y sin ser el único medio para prestar un servicio esencial— la categorización previsible es **BÁSICA**. Esa determinación corresponde en todo caso al responsable de seguridad de la corporación, y el capítulo 37 detalla la documentación que la plataforma puede aportar al análisis.

VOLUMEN V

Validación, verificación e incertidumbre

Contraste numérico frente a valores publicados, comparación con observaciones de campo, cuantificación del error, protocolo reproducible de comprobación y declaración expresa de todo aquello que la plataforma no hace.

Capítulo 26. Verificación numérica: contraste contra valores publicados

Capítulo 27. Validación frente a episodios reales

Capítulo 28. Tratamiento de la incertidumbre y propagación de errores

Capítulo 29. Protocolo de verificación reproducible

Capítulo 30. Limitaciones declaradas: lo que la plataforma no hace

CAPÍTULO 26

Verificación numérica

Conviene empezar distinguiendo dos conceptos que se confunden a menudo y que un evaluador distinguirá con toda seguridad:

Tabla 26.1 — Verificación frente a validación.

Concepto	Pregunta que responde	Cómo se comprueba
Verificación	¿Está bien resuelta la ecuación que se dice resolver?	Contraste contra valores publicados y comprobación de consistencia interna. Es el objeto de este capítulo.
Validación	¿Describe esa ecuación lo que ocurre en la realidad?	Comparación con observaciones de campo. Es el objeto del capítulo 27.

Un modelo puede estar perfectamente verificado y ser una mala descripción de la realidad; y puede acertar por casualidad estando mal implementado. Ambas comprobaciones son necesarias y son distintas.

26.1 · Contraste contra valores publicados

Cada ecuación se ha evaluado en puntos para los que existe valor de referencia publicado.

Tabla 26.2 — Verificación numérica del motor de incendios. Los valores de la columna «obtenido» se han generado ejecutando la implementación durante la composición de este documento.

Comprobación	Referencia	Obtenido	Resultado
Humedad de equilibrio a 21 °C y 50 % HR	9,0 %	9,20 %	Coincide
Humedad de equilibrio a 38 °C y 15 % HR	3,1 %	3,14 %	Coincide
Longitud de llama a 500 kW/m	1,4 m	1,35 m	Coincide
Longitud de llama a 4.000 kW/m	3,5 m	3,52 m	Coincide
Relación L/B en calma	1,00	1,00	Exacto
Relación L/B con viento de 30 km/h	≈ 3,8	3,84	Coincide
Umbral de copas · CBH 6 m, FMC 100 %	≈ 2.400 kW/m	2.476 kW/m	Coincide

Tabla 26.3 — Verificación numérica del motor hidráulico.

Comprobación	Referencia	Obtenido	Resultado
Escorrentía nula bajo el umbral ($P = 20$, $P_0 = 25$)	0 mm	0,0 mm	Exacto
Escorrentía con $P = 100$ mm, $P_0 = 25$ mm	32,1 mm	32,1 mm	Exacto
Fracción de escorrentía con $P = 300$ mm, $P_0 = 25$ mm	≈ 67 %	67,2 %	Coincide
Velocidad de Manning · $h = 0,3$ m, $n = 0,015$, $S = 2$ %	4,23 m/s	4,23 m/s	Exacto
Caudal unitario · $h = 0,5$ m, $n = 0,035$, $S = 1$ %	1,13 m³/s·m	0,90 m³/s·m	Exacto
Balance de masa del hietograma (180 mm en 180 min)	180,00 mm	180,00 mm	Exacto

SOBRE LA ÚLTIMA FILA

El balance del hietograma cierra exactamente porque la normalización de la ecuación (15.1) se realiza sobre la suma discreta y no sobre la integral analítica de la gaussiana. Es la comprobación que confirma que la decisión de diseño explicada en el capítulo 15 era la correcta: con normalización analítica, la suma de los minutos simulados no daría la lluvia declarada y el error se arrastraría a todo el balance de volumen.

26.2 · Comprobaciones de consistencia interna

Además del contraste con valores externos, se comprueban propiedades que el modelo debe cumplir por construcción y cuyo incumplimiento delataría un error de implementación.

Tabla 26.4 — Comprobaciones de consistencia.

Propiedad	Comportamiento exigido	Resultado
Monotonía respecto del viento	R no puede decrecer al aumentar el viento	Se cumple en todo el rango, hasta la saturación del límite de viento efectivo
Extinción por humedad	$R \rightarrow 0$ al alcanzar la humedad de extinción	Se cumple: $\eta_M = 0$ y con ello $I_R = 0$
Homogeneidad dimensional	Cada término de (7.1) en sus unidades	Verificada término a término en la Tabla 7.1
Simetría del trasvase hidráulico	Cada pareja de celdas se resuelve una sola vez	Garantizado por la condición de que sólo cede la celda de lámina más alta
No negatividad del calado	$h \geq 0$ en toda celda y todo instante	Impuesto tras cada paso de integración
Conservación de volumen	Ecuación (18.2) en todo instante	Los cuatro términos se contabilizan por separado y son consultables
Determinismo	Misma entrada, misma salida	La propagación no emplea generación aleatoria: el resultado es reproducible

26.3 · Trazabilidad de una corrección

La versión 2.0 de este dossier atribuía el trazado de las envolventes a un algoritmo de cascos convexos que, tras un cambio en el motor, había dejado de ejecutarse. La cita se sustituyó por las que corresponden al código real: **etiquetado de componentes conexas** para identificar las agrupaciones de celdas, y **cierre y apertura morfológicos** para limpiar el contorno.

Se deja constancia porque ilustra el compromiso que sostiene el Anexo C: **cada referencia citada se corresponde con código que existe**. Una bibliografía que enumera autores cuyo algoritmo ya no se ejecuta destruye exactamente la credibilidad que pretende construir.

Dos correcciones del 3 de agosto de 2026 que afectaban a cifras publicadas

Se registran aquí por el mismo motivo, y porque ambas producían documentos con apariencia correcta:

Tabla 26.5 — Correcciones con efecto sobre las cifras de los informes.

Qué ocurría	Por qué	Cómo se resolvió
Los informes de daños y de población se emitían con todo a cero, fechados «a los 1 minutos».	El instante a documentar se tomaba del reloj del simulador del hilo principal. Pero el episodio lo resuelve un <i>worker</i> sobre su propia copia del motor, de modo que ese reloj permanece en cero: el informe se emitía sobre el primer minuto de lluvia, cuando aún no hay lámina.	Se toma el minuto que de verdad se está visualizando en el mapa. Verificado sobre la DANA de referencia: minuto 236, 1.958,8 ha, 349 edificaciones.

Qué ocurría	Por qué	Cómo se resolvió
Una parcela situada dentro de un perímetro de grave riesgo podía declararse favorable.	El veredicto contrastaba únicamente el <i>calado</i> . La zona crítica se perimetra con dos criterios —calado y peligrosidad—, así que un punto con lámina baja y corriente rápida quedaba dentro del rojo y salía en verde. Además podía emitirse un veredicto favorable sin haber resuelto ningún episodio .	Veredicto y perímetro emplean hoy las mismas dos magnitudes y los mismos dos umbrales, y un favorable exige haber contrastado contra un episodio. Detallado en el apartado 46.4.

LA LECCIÓN DE MÉTODO

Las dos comparten un mismo patrón: **una cifra a cero, o un verde, superan cualquier comprobación que sólo verifique que el documento se genera, que pesa lo esperado y que no contiene valores rotos**. Un informe lleno de ceros pasa las tres. Desde esta revisión, el protocolo del capítulo 29 exige comprobar además que las cifras *son distintas de cero cuando debe haberlas* y que dos partes de la plataforma que responden a la misma pregunta emplean los mismos umbrales.

27.1 · El contraste de campo del módulo de incendios

Se ha contrastado la velocidad de propagación calculada frente a una observación documentada de un incendio real en matorral mediterráneo.

Tabla 27.1 — Contraste frente a observación de campo.

Caso	Observado	Simulado	Desviación
Incendio en matorral mediterráneo con viento de 6 m/s	16,8 m/min	10,7 m/min	−6,1 m/min (−36 %)

LECTURA HONESTA DE ESTA DESVIACIÓN

El modelo **subestima** la velocidad observada. No se presenta como un acierto ni se maquilla el signo. Dos precisiones la sitúan en su contexto:

Primera: la desviación cae dentro del **error medio absoluto de 3,5 a 9,1 m/min** que la literatura científica reconoce a los modelos de propagación en matorral, incluidos los sistemas operativos de referencia. Es una limitación de la familia de modelos de Rothermel en formaciones arbustivas, ampliamente documentada, no un defecto de esta implementación en particular.

Segunda, y más importante para la operación: **la desviación es por defecto**. Un modelo que subestima la velocidad produce estimaciones de tiempo disponible *optimistas*, que es la dirección peligrosa del error. Esta circunstancia debe conocerse al operar la plataforma, y figura como advertencia expresa en el manual del capítulo 40 y en las limitaciones del capítulo 30.

27.2 · Los escenarios de contraste del módulo hidráulico

Tabla 27.2 — Escenarios ejecutados y comprobaciones asociadas.

Escenario	Comprobación realizada	Resultado
Episodio extremo tipo DANA	Delimitación de zonas seguras y críticas	Cuatro envolventes seguras y cuatro críticas. Cero solape entre ambas categorías, medido celda a celda.
Episodio moderado de 180 l/m²	Ídem	Cuatro envolventes seguras y ninguna crítica: el resultado responde al escenario y no está prefijado.
Recomputación independiente del criterio de zona segura	Las tres condiciones, evaluadas al margen de la máscara publicada	Cero falsos positivos . Los extremos tocan los umbrales exactamente: prominencia mínima +10 m, distancia máxima a la cima 15 m, calado máximo 49 mm.
T = 10, 100 y 500 años	Situación relativa de los núcleos sensibles	Casco urbano, GIALMA y Polideportivo fuera de la zona inundable en los tres periodos de retorno.
Barrido de caudal fluvial 150 / 350 / 700 m³/s	Separación entre calado de calle, de cauce y de cubeta	Tabla 19.3. Corrección verificada de 11,84 m a 2,86 m en el caso más desfavorable.

LO QUE FALTA PARA PODER HABLAR DE VALIDACIÓN EN SENTIDO ESTRICTO

Los contrastes anteriores son comprobaciones de comportamiento, no una validación formal. Una validación en sentido estricto exige comparar la **huella simulada** con la **huella realmente observada** de un episodio concreto, mediante un índice cuantitativo de coincidencia espacial. Ese trabajo **no está hecho**. Está planificado, con imágenes de radar del programa Copernicus como referencia y un objetivo declarado de índice de coincidencia, y constituye el primer hito del itinerario de homologación del Volumen VI. Presentar los contrastes actuales como validación completa sería faltar a la verdad.

CAPÍTULO 28

Incertidumbre y propagación de errores

Una cifra sin margen de error no es un resultado técnico. Este capítulo cuantifica cuánto se traslada al resultado la incertidumbre de cada dato de entrada.

28.1 · Origen de la incertidumbre

Tabla 28.1 — Fuentes de incertidumbre y su magnitud típica.

Fuente	Magnitud típica	Naturaleza
Del dato de entrada	Viento ± 2 m/s Humedad ± 3 puntos	El viento local difiere del de la estación de referencia; la humedad del combustible se deriva de forma indirecta a partir de temperatura y humedad relativa.
Del modelo	3,5 – 9,1 m/min	Error propio de la familia de modelos de Rothermel en matorral, con independencia de la calidad del dato de entrada.
De la discretización	Lado de celda 77 × 50 m	Un accidente del terreno menor que la celda no se representa. Afecta sobre todo a la inundación urbana.
De la clasificación	Alta en bordes de zona	Asignación zonal del modelo de combustible (capítulo 8) y del uso del suelo.
Númerica	< 0,01 %	Tablas de potencias interpoladas. Despreciable frente a todo lo anterior.

28.2 · Propagación al resultado

Para una función de varias variables con incertidumbres independientes, la incertidumbre del resultado se compone cuadráticamente:

$$u(R)^2 = \sum_i \left(\partial R / \partial x_i \right)^2 \cdot u(x_i)^2$$

Ley de propagación de la incertidumbre. Las derivadas parciales se han evaluado numéricamente sobre la implementación real, por diferencias centradas.

(28.1)

Ejemplo trabajado

Se evalúa el caso base del capítulo 13 —matorral denso de monte, viento 6 m/s, humedad muerta 8 %, pendiente 20 %— con incertidumbres realistas de ± 2 m/s en el viento y ± 3 puntos porcentuales en la humedad del combustible.

Tabla 28.2 — Propagación de la incertidumbre al resultado.

Variable	Sensibilidad $\partial R / \partial x$	Incertidumbre $u(x)$	Contribución
Viento	8,99 (m/min) por (m/s)	± 2,0 m/s	18,0 m/min
Humedad del combustible muerto	-2,14 (m/min) por punto	± 3,0 puntos	6,4 m/min
Incertidumbre combinada del dato de entrada			± 19,1 m/min
Incertidumbre propia del modelo (valor central del rango de literatura)			± 6,3 m/min
Resultado que debe comunicarse			42 ± 20 m/min

La conclusión operativa es doble. Primera: **la velocidad de propagación debe comunicarse como una horquilla**, nunca como una cifra con decimales. Segunda: en este caso el término dominante es la incertidumbre del *dato de viento*, lo que confirma cuantitativamente la prioridad de mejora número 6 del capítulo 30.

28.3 · Cómo debe comunicarse cada resultado

Tabla 28.3 — Criterio de comunicación según la fiabilidad de cada magnitud.

Magnitud	Fiabilidad	Forma correcta de comunicarla
Dirección del avance	Alta	Puede afirmarse con seguridad. Depende del viento, que se conoce razonablemente bien.
Orden de magnitud del tiempo disponible	Alta	«Del orden de una hora» es una afirmación defendible ante cualquier evaluador.
Velocidad de propagación	Media	Comunicar horquilla. Nunca un valor con decimales.
Tiempo exacto de llegada a un punto	Media-baja	Emplear siempre el extremo desfavorable de la horquilla para decidir.
Calado en un punto concreto	Baja	Depende de detalles del terreno menores que la celda. Válido como orden de magnitud zonal, no como cota en un portal .
Superficie afectada	Media	Válida para dimensionar el dispositivo, no para valorar daños.
Censo de población afectada	Baja	Estimación estadística por densidad zonal. Sirve para dimensionar un albergue, no para localizar personas.

Protocolo de verificación reproducible

Toda afirmación de comportamiento de este documento se ha comprobado **en un navegador real gobernado por control remoto**, no razonando sobre el código. Este capítulo describe el procedimiento para que un tercero pueda repetirlo.

29.1 • El montaje

- 1. Servidor local sirviendo la aplicación desde la raíz del proyecto.
- 2. Navegador en modo sin ventana, con el puerto de depuración remota abierto.
- 3. Un controlador que se conecta a ese puerto, ejecuta expresiones en el contexto de la página, captura imágenes y sintetiza eventos de ratón y de teclado.

La diferencia con una prueba automatizada convencional es que **los eventos son de entrada real**: se arrastra con el ratón, se redimensiona tirando del borde, se pulsa la tecla. Lo que se comprueba es lo que hará el operador, no lo que hace una función invocada directamente.

29.2 • Cinco lecciones de método

Se documentan porque son errores fáciles de cometer que producen conclusiones falsas con apariencia de medición.

Tabla 29.1 — Errores de método detectados y su solución. Los dos últimos se incorporaron tras el diagnóstico del apartado 29.4.

Error	Consecuencia	Solución adoptada
Los avisos modales tapan el mapa	El clic de prueba impacta en el aviso y no en la cartografía: la comprobación parece fallar sin que nada falle	Ocultar los modales antes de interactuar con el mapa
Comparar capturas sin fijar la vista	Se comparan encuadres distintos y se concluye que algo ha cambiado cuando sólo se ha movido el mapa	Fijar centro y nivel de escala sin animación antes de cada captura
Anidar literales de plantilla en el guion del controlador	El escapado se rompe y la expresión llega deformada al navegador	Escribir la expresión en su propio fichero y leerla desde disco
Despachar el evento sobre el contenedor del mapa	Da falsos positivos. Se salta la prueba de impacto del navegador, de modo que la comprobación pasa aunque para el usuario real haya una capa encima interceptando el clic	Sintetizar el evento por coordenadas de pantalla, con prueba de impacto, que es lo que hace el ratón
Un diálogo del sistema abierto	Detiene el hilo de JavaScript y cuelga el controlador indefinidamente	Atender el evento de apertura de diálogo y descartarlo. Motivo adicional para haberlos sustituido por avisos no bloqueantes (capítulo 40)

29.3 • Acceso de diagnóstico al motor

Sintetizar clics es frágil y produce falsos negativos. Para que una comprobación externa pueda interrogar al motor directamente, la aplicación expone los dos controladores bajo `window.MP_DEBUG`. No revela nada que no esté ya en el navegador de quien usa la aplicación: son objetos de la propia página.

Permite, por ejemplo, situar focos y sujetos por coordenadas y leer la evaluación completa sin tocar la interfaz.

Una advertencia de uso: el cálculo direccional necesita un instante mayor que cero. En el minuto cero la elip-

se de propagación no tiene tamaño y todos los sujetos salen como «zona segura», lo que puede interpretarse erróneamente como un fallo.

29.4 · Un hallazgo que sólo aparece con clics reales

EL 75 % DEL MAPA NO ACEPTABA EL CLIC

Situar un peatón o un foco exige que el clic llegue al mapa. En la biblioteca cartográfica que emplea la plataforma, una capa vectorial interactiva que recibe el clic impide que el mapa se entere. Medido sobre una malla de 2.420 puntos del término: sólo el 25 % de la superficie aceptaba el clic. El resto caía sobre isotermas, la red eléctrica, las zonas de riesgo o los perímetros de exclusión, y no ocurría nada. Sin ningún error en consola.

Se resolvió en dos niveles: lo puramente decorativo dejó de ser interactivo, y lo que debe conservar su ficha informativa se neutraliza únicamente mientras se está colocando algo. Resultado medido: del 25 % al 97 %. Se añade además el cierre automático de los modales que se superponen al mapa, que producían el mismo síntoma.

Este caso ilustra por qué el protocolo exige eventos de entrada reales y no llamadas directas a las funciones: una prueba que invoca el manejador habría pasado sin detectar nada, porque el defecto no estaba en la lógica sino en si el evento llegaba a ella.

29.5 · Ejemplo de comprobación con resultado numérico

El rediseño de interfaz se verificó midiendo, no apreciando:

Tabla 29.2 — Comprobaciones del rediseño de interfaz, medidas con el protocolo anterior.

Comprobación	Resultado medido
Superficie de mapa visible, antes y después	49,8 % → 59,3 %
Errores de consola durante la sesión	0
Arrastre de ventana con ratón real	240 px · correcto
Redimensión tirando del borde	330 → 440 px · correcto
Minimizar y restaurar conservando tamaño	Correcto
Modo presentación	Oculto 9 de 9 elementos; vuelve con Esc
Persistencia tras recargar	Correcto
Controles de escala nunca tapados	Verificado a 1920×1080

POR QUÉ ESTO PERTENECE A UN DOSSIER TÉCNICO

Porque la pregunta «¿cómo sé que lo que me enseñan funciona?» tiene aquí una respuesta operativa: existe un procedimiento, es reproducible por un tercero y produce números. Un organismo evaluador puede exigir la repetición de cualquiera de estas comprobaciones en su presencia, y ese es precisamente el contenido del hito de auditoría técnica del capítulo 39.

Limitaciones declaradas

CAPÍTULO DE LECTURA OBLIGATORIA PARA CUALQUIER EVALUADOR

Este es, con diferencia, el capítulo más importante del documento de cara a un organismo técnico. Relaciona **todo** aquello que la plataforma **no hace, no sabe hacer o hace de forma aproximada**. Ninguna de estas limitaciones se ha omitido para mejorar la presentación, y su enumeración es el mejor indicador disponible de la fiabilidad del resto del documento.

30.1 · Limitaciones del módulo de incendios

Tabla 30.1 — Limitaciones del módulo de incendios.

Limitación	Alcance	Situación y previsión
Asignación zonal del combustible	El modelo de combustible se asigna por umbrales geográficos, no por cartografía celda a celda.	Es la limitación de mayor impacto del módulo. Su efecto es apreciable en los bordes de zona y puede cambiar el resultado por un factor considerable (Tabla 7.3). Sustituible por una capa raster procedente del SIOSE o del Inventario Forestal Nacional.
Subestimación en matorral	Desviación medida de $-6,1$ m/min frente a observación de campo.	Propia de la familia de modelos de Rothermel en formaciones arbustivas. El error es <i>por defecto</i> , es decir, en la dirección optimista, y debe compensarse con criterio operativo.
Focos secundarios	La proyección de pavesas por delante del frente no se modela con una física propia de trayectorias.	Se informa de la actividad de copas, que es su condición previa, pero no se predice dónde caerá una pavesa.
Campo de vientos	El viento se aplica de forma uniforme, con una corrección heurística por zona topográfica (capítulo 24).	Un campo resuelto con conservación de masa sobre el relieve produciría deflexiones locales que hoy no se representan.
Mapa de combustible	El modelo de combustible de cada punto se asigna con reglas geográficas , refinadas allí donde OpenStreetMap etiqueta explícitamente masa arbolada, matorral o lámina de agua.	No es un mapa de vegetación levantado sobre el terreno. Se evaluó tomar OpenStreetMap como fuente única y se descartó con datos: en este ámbito sólo el 5 % de la superficie está etiquetada como bosque o matorral —32 y 79 polígonos— y el 58 % carece de etiqueta; el centro de Monte Canya, que es pinar, figura como suelo urbano. Usarlo habría dejado casi todo el término en el modelo de menor carga. La fuente correcta es el SIOSE o el Mapa Forestal de España , que el IGN publica como WMS ráster; incorporarlos exige el vectorial o descifrar la leyenda por color. Queda pendiente.
Régimen de copas activo	Se calcula el <i>umbral</i> de paso a copas, pero no una velocidad de propagación específica del fuego de copas activo.	Cuando se cruza el umbral, la plataforma lo declara; la velocidad que muestra sigue siendo la de superficie y por tanto conservadora.
Límite de viento efectivo	Por encima del umbral de la ecuación (7.9) el modelo pierde validez.	El motor lo señala en telemetría. En huerta regada ese umbral se alcanza con vientos moderados (Tabla 8.4).

30.2 · Limitaciones del módulo hidráulico

Tabla 30.2 — Limitaciones del módulo hidráulico.

Limitación	Alcance	Situación y previsión
Onda difusiva	Se desprecian los términos inerciales.	Correcto para flujo gradualmente variado. Impide simular la rotura de presa , que se excluye expresamente (capítulo 19). Un estudio de rotura exige un modelo de aguas someras completas.
Resolución de la malla	Celda de 77 × 50 m sobre un dominio de 14,74 × 9,67 km (142,5 km ²), resuelto con una malla de 192 × 192.	Un bordillo, un muro bajo o una rampa de garaje quedan por debajo de la celda y no se representan. El dominio contiene el término municipal completo (47,71 km ²) con algo más de un kilómetro de margen, porque la escorrentía entra desde los municipios limítrofes y tiene que poder salir por el Monnegre. Los recuentos que se publican se recortan al polígono oficial del término : 12.338 celdas de las 36.864 del dominio, que cierran 47,5 km ² frente a los 47,71 oficiales.
Red de alcantarillado	Se representa como una capacidad de detracción global, no como una red con su geometría real.	Un modelo de la red exigiría el inventario municipal de colectores con sus cotas y secciones. Es la mejora prioritaria del módulo si el Ayuntamiento facilita esa información.
Caudal del Monnegre	No existe como dato público. Verificado estación por estación: la red de aforos del SAIH no cubre este cauce (capítulo 21).	El caudal de entrada del módulo sólo puede introducirse manualmente o estimarse. La plataforma lo declara así en lugar de rellenarlo. Los valores de referencia del encauzamiento siguen siendo estimaciones y se identifican como tales.
Volumen embalsado de Tibi	Tampoco figura en el SAIH: la presa la gestiona el Sindicato de Riegos de la Huerta de Alicante, no el organismo de cuenca.	El escenario de vaciado exige introducir el volumen a mano. La capacidad de proyecto verificada es de 3,69 hm ³ , hoy muy reducida por aterramiento (capítulo 19).
Distancias a la zona inundable	Las distancias que muestra el panel del río están confirmadas <i>cualitativamente</i> —los núcleos sensibles quedan fuera en los tres periodos de retorno— pero las cifras exactas no están verificadas una a una .	Verificación pendiente. Se señala porque ese panel es material de presentación, y una cifra concreta invita a ser comprobada por quien la lea.
Arrastre de sólidos	No se modela el transporte de sedimentos, cañas ni residuos.	En un episodio real, el taponamiento de un paso inferior por acumulación de arrastres puede cambiar por completo la mancha de inundación. Ningún modelo hidráulico de esta clase lo predice.
Colector del Juncaret	La actuación se representa como una capacidad de laminación finita (20.159 m ³) que deja de actuar al colmatarse, no como un conducto que siga evacuando a su caudal de diseño durante todo el episodio.	Frente a una DANA la retención supone del orden del 0,06 % del volumen escurrido, de modo que los totales del término no varían de forma apreciable. La comparativa «con obra / sin obra» es por ello conservadora y no constituye una valoración del beneficio de la actuación ; la propia herramienta lo advierte junto a la tabla. Evaluar el beneficio exige modelar la conducción y hacerlo en el ámbito del barranco, no sobre el total municipal.
Estado antecedente del suelo	Se declara como parámetro, no se mide.	Sustituible por el producto satelital de humedad de suelo, ya disponible como servicio en la plataforma.

30.3 · Limitaciones transversales

Tabla 30.3 — Limitaciones que afectan a toda la plataforma.

Limitación	Descripción
Sin validez administrativa	La plataforma no está homologada por ningún organismo. Sus salidas no sustituyen a la cartografía oficial ni a los informes preceptivos. El Volumen VI describe el itinerario completo para modificar esta situación.
Sin validación formal de huella	No se ha realizado la comparación cuantitativa entre huella simulada y huella observada de un episodio real. Es el primer hito pendiente.
Censo estimado	La población afectada se estima por densidad zonal. No es un padrón: no identifica personas ni domicilios, ni pretende hacerlo.
Dependencia de servicios externos	Los datos en vivo dependen de terceros. La plataforma degrada de forma controlada y nunca sustituye el dato ausente por uno fabricado (apartado 21.3), pero con los servicios caídos opera sólo con los parámetros que introduzca el operador.
Los avisos oficiales se leen, no se emiten	La franja de avisos reproduce lo que publica AEMET; la plataforma no genera avisos propios ni puede emitirlos. Y si no logra consultarlos, lo declara en lugar de mostrar ausencia de riesgo : no haber podido preguntar y no haber nada que informar son cosas distintas.
Extracción de datos del SAIH	La Confederación no publica una interfaz documentada de consulta: los datos se obtienen del bloque que su visor incrusta en la página. Si esa página cambia, el endpoint dejará de encontrarlos y responderá «sin dato» —nunca un valor inventado—, pero habrá que rehacerlo. Es un argumento más para el convenio de acceso del capítulo 34.
Latencia satelital	De tres a cinco horas. No es un sistema de alerta temprana (capítulo 23).
El operador puede equivocarse	Todos los parámetros físicos son ajustables. Un conjunto de parámetros irreal produce un resultado irreal con idéntica apariencia de rigor. La formación del capítulo 40 es parte del sistema, no un complemento opcional.

30.4 · Prioridades de mejora derivadas de este capítulo

Tabla 30.4 — Mejoras ordenadas por impacto sobre la fiabilidad del resultado.

Orden	Mejora	Efecto esperado
1	Capa cartográfica de modelos de combustible	Elimina la limitación de mayor impacto del módulo de incendios
2	Validación de huella contra imagen de radar	Convierte las comprobaciones actuales en validación formal y desbloquea el itinerario de homologación
3	Inventario municipal de la red de saneamiento	Sustituye la detección global por una red real con su geometría
4	Consulta del modelo digital del terreno del IGN para cotas puntuales	Sustituye la aproximación analítica del módulo auxiliar por el dato oficial
5	Campo de vientos con conservación de masa sobre el relieve	Sustituye la corrección heurística por zona por una resolución física
6	Estación meteorológica propia en el término	Reduce la incertidumbre de la variable dominante (Tabla 28.2). Menos urgente desde la integración de la observación de AEMET , que ya aporta medición real a 6,5 km, pero sigue siendo la única vía de tener el dato <i>dentro</i> del término
7	Caudal de diseño oficial del encauzamiento	Sustituye una estimación declarada por el dato de la Administración hidráulica
8	Instrumentación del cauce del Monnegre	Hoy no hay estación de aforo en el río. Sin ella, el caudal seguirá siendo un parámetro que introduce el operador, nunca un dato medido

UNA OBSERVACIÓN FINAL SOBRE ESTE CAPÍTULO

Es habitual que un documento de presentación omita este contenido por temor a debilitar la propuesta. La experiencia con organismos técnicos indica lo contrario: un evaluador **encontrará** estas limitaciones, y la única variable bajo control del redactor es si las encuentra declaradas o las descubre por su cuenta. Un dossier que las declara convierte cada una en una línea de trabajo; uno que las oculta convierte cada hallazgo en un motivo de desconfianza sobre todo lo demás.

VOLUMEN VI

Homologación administrativa y legal

Itinerario completo, entidad por entidad: qué trámite corresponde a cada administración, con qué fundamento normativo, qué documentación exige, qué plazo tiene, quién debe impulsarlo y en qué punto se encuentra hoy.

Capítulo 31. Qué significa homologar y qué no

Capítulo 32. Administración local: el Ayuntamiento de Mutxamel

Capítulo 33. Administración autonómica: Generalitat Valenciana

Capítulo 34. Administración hidráulica: Confederación Hidrográfica del Júcar

Capítulo 35. Administración General del Estado y Unión Europea

Capítulo 36. Validación pericial universitaria y científica independiente

Capítulo 37. Protección de datos, propiedad intelectual y responsabilidad

Capítulo 38. Contratación pública: cómo puede adquirirse la plataforma

Capítulo 39. Cronograma integrado y estado de cada trámite

Qué significa homologar y qué no

Este capítulo empieza con una precisión incómoda que debe hacerse antes que ninguna otra cosa, porque de ella depende que todo el volumen sea útil en lugar de engañoso.

NO EXISTE UNA «HOMOLOGACIÓN DE SIMULADORES DE EMERGENCIA»

En el ordenamiento español **no existe ningún registro, catálogo ni procedimiento de homologación de herramientas informáticas de apoyo a la decisión en protección civil**. No hay un organismo que expida un certificado que diga «este simulador es apto». Cualquier documento que prometa esa homologación, sin más, está prometiendo algo que no existe.

Lo que sí existe —y es lo que este volumen desarrolla— es un **conjunto de procedimientos reales, cada uno con su norma, su órgano competente y su efecto jurídico propio**, cuya suma produce el reconocimiento institucional que se persigue. Recorrerlos uno a uno es más lento que exhibir un sello, y es lo único que resiste el examen de un secretario municipal.

31.1 · Las siete vías reales de reconocimiento

Tabla 31.1 — Vías de reconocimiento institucional, con su efecto jurídico real.

Vía	Órgano competente	Efecto jurídico	Aplicabilidad
Homologación del plan municipal	Comisión de Protección Civil de la Comunitat Valenciana	Homologación en sentido propio. El plan homologado se integra en el sistema autonómico	La vía principal. Lo que se homologa es el Plan de Actuación Municipal; la plataforma figura en él como medio de análisis del riesgo
Aprobación municipal	Pleno del Ayuntamiento	Acto administrativo. Incorpora la herramienta a los medios propios de la corporación	Imprescindible y previa a todo lo demás
Informe técnico favorable	Servicios técnicos municipales	Informe preceptivo interno, no vinculante para terceros	Requisito de hecho para que el expediente avance
Validación pericial universitaria	Universidad o centro de investigación, vía convenio	Dictamen técnico independiente. No es acto administrativo, pero es la prueba de solvencia científica	Muy recomendable. Es lo que convierte «afirmamos que resuelve Rothermel» en «un tercero lo ha comprobado»
Conformidad con el Esquema Nacional de Seguridad	Responsable de seguridad de la corporación	Obligatoria si el sistema se incorpora a los sistemas de información municipales	Exigible. Categoría previsible BÁSICA
Conformidad de accesibilidad	Unidad responsable de accesibilidad del Ayuntamiento	Obligatoria para sitios del sector público	Exigible si se publica en dominio municipal
Certificación de sistema de gestión	Entidad de certificación acreditada	Certifica el <i>proceso</i> del desarrollador, no la exactitud del modelo	Opcional. Aporta credibilidad ante contratación, no ante evaluación técnica

31.2 · El punto de llegada realista

Conviene fijar el objetivo con precisión, porque un objetivo mal formulado produce un expediente que no termina nunca. El objetivo alcanzable es el siguiente:

FORMULACIÓN DEL OBJETIVO

Que el Plan de Actuación Municipal de Mutxamel frente al riesgo de incendios forestales y frente al riesgo de inundaciones, homologado por la Comisión de Protección Civil de la Comunitat Valenciana, recoja expresamente la plataforma como medio municipal de análisis y apoyo a la decisión, respaldada por un informe técnico municipal favorable y por un dictamen de validación científica independiente.

Alcanzado ese punto, la plataforma es un **medio reconocido dentro de un instrumento de protección civil homologado**. Es todo el reconocimiento que el ordenamiento permite a una herramienta de esta naturaleza, y es suficiente para su uso institucional pleno.

Itinerario de reconocimiento institucional

Las fases son secuenciales: cada una es requisito de la siguiente

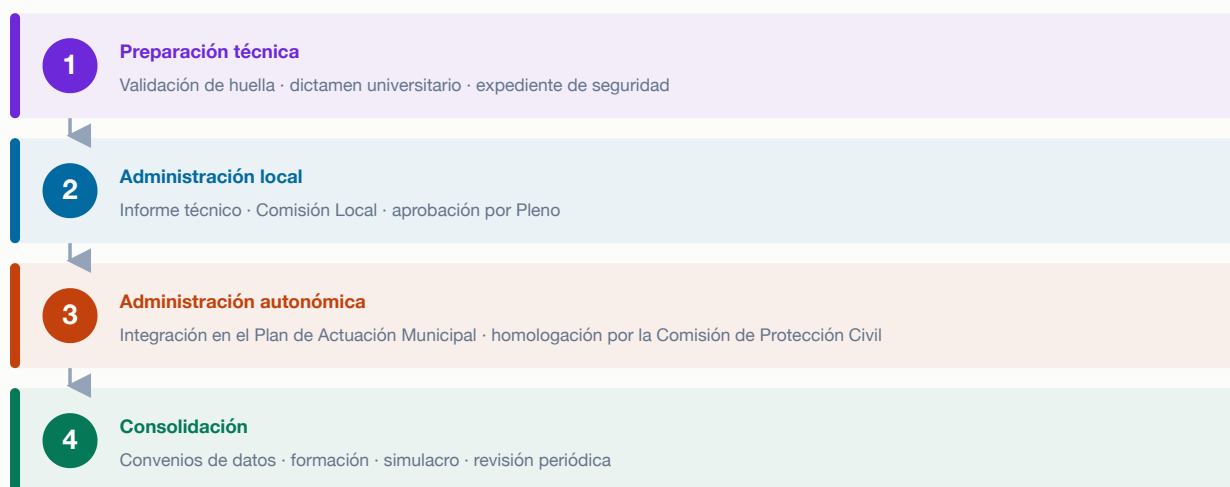


Figura 31.1 — Las cuatro fases del itinerario. La fase 1 es la única que depende exclusivamente del desarrollador; las tres restantes requieren decisión municipal, que es precisamente la aportación que se solicita a las instituciones competentes.

CAPÍTULO 32

Administración local

Todo empieza y termina en el Ayuntamiento. Ninguna administración superior tramitará nada que el municipio no haya asumido antes como propio.

32.1 · Competencias municipales que dan cobertura

Tabla 32.1 — Fundamento competencial de la actuación municipal.

Norma	Competencia que atribuye
Ley 7/1985 , Reguladora de las Bases del Régimen Local, art. 25.2.f)	Atribuye al municipio competencia propia en materia de protección civil, prevención y extinción de incendios .
Ley 17/2015 del Sistema Nacional de Protección Civil	Integra al municipio en el sistema y le atribuye funciones en anticipación, prevención y planificación.
Ley 13/2010 de Protección Civil y Gestión de Emergencias de la Comunitat Valenciana	Atribuye al alcalde la dirección de los planes de ámbito local y la adopción de medidas de protección a la población.
Ley 8/2010 de Régimen Local de la Comunitat Valenciana	Desarrollo autonómico del régimen local valenciano.

32.2 · Los seis trámites municipales, en orden

Tabla 32.2 — Itinerario municipal completo.

Nº	Trámite	Órgano	Documentación	Plazo estimado
1	Presentación institucional	Alcaldía y concejalías de Seguridad Ciudadana, Urbanismo y Medio Ambiente	Este dossier · demostración en vivo (capítulo 40)	Inmediato
2	Informe de los servicios técnicos	Arquitecto o ingeniero municipal · técnico de Medio Ambiente	Volúmenes II a V · acceso a la aplicación · protocolo de verificación del capítulo 29	3 – 6 semanas
3	Informe de Policía Local y Protección Civil	Jefatura de Policía Local · Agrupación de Voluntarios de Protección Civil	Volumen VII · sesión de operación en sala	2 – 4 semanas
4	Dictamen de la Comisión Local o Junta Local de Seguridad	Comisión Local de Protección Civil, si está constituida	Informes anteriores	1 sesión ordinaria
5	Informe jurídico y de intervención	Secretaría · Intervención	Capítulos 37 y 38 · propuesta contractual	3 – 6 semanas
6	Acuerdo plenario	Pleno del Ayuntamiento	Expediente completo	1 sesión plenaria

32.3 · Dónde encaja la plataforma dentro del Plan de Actuación Municipal

Este apartado es el más operativo del capítulo. Un Plan de Actuación Municipal tiene una estructura tasada por la Directriz Básica correspondiente, y la plataforma no encaja en cualquier apartado: encaja en unos concretos y no en otros.

Tabla 32.3 — Encaje de la plataforma en la estructura del Plan de Actuación Municipal.

Apartado del plan	¿Encaja?	Aportación
Análisis del riesgo	Sí, plenamente	Es su lugar natural. Aporta escenarios cuantificados de propagación e inundación, y la caracterización del capítulo 1.
Zonificación y áreas de especial vulnerabilidad	Sí	Envolventes de zona crítica y segura, con el criterio del capítulo 20 declarado.
Estructura organizativa y funciones	No	Es materia de organización municipal. La plataforma es un medio, no un órgano.
Operatividad · procedimientos de actuación	Sí, como medio de apoyo	Se incorpora al procedimiento del CECOPI como herramienta de análisis previa a la decisión. Nunca como decisor.
Catálogo de medios y recursos	Sí	Figura como medio técnico municipal, con su ficha.
Sistemas de aviso a la población	Parcial	Con precisión obligatoria: la plataforma <i>prepara y ensaya</i> mensajes; no los emite. Véase el apartado 35.3.
Implantación y mantenimiento	Sí	Programa de formación y simulacro del capítulo 40.

REDACCIÓN SUGERIDA PARA EL PLAN

«El Ayuntamiento dispone de la plataforma de simulación Previsio como medio técnico de apoyo al análisis del riesgo y a la toma de decisiones del CECOPI municipal. Sus resultados tienen carácter orientativo y no sustituyen a la cartografía oficial de peligrosidad ni a los informes de los organismos competentes. Las limitaciones del modelo constan declaradas en su documentación técnica.» Esta redacción es deliberadamente conservadora: protege al Ayuntamiento y es la que un evaluador autonómico admitirá sin objeción.

CAPÍTULO 33

Administración autonómica

La Generalitat Valenciana es la administración con competencia sustantiva en protección civil, emergencias y prevención de incendios forestales en el territorio. Es aquí donde se produce la **única homologación en sentido propio** de todo el itinerario.

33.1 · Los interlocutores autonómicos

Tabla 33.1 — Órganos autonómicos con competencia concurrente.

Órgano	Competencia	Relación con la plataforma
Comisión de Protección Civil de la Comunitat Valenciana	Homologación de los planes de protección civil de ámbito local	Órgano clave del itinerario. Homologa el Plan de Actuación Municipal en el que la plataforma figura como medio.
AVSRE · Agència Valenciana de Seguretat i Resposta a les Emergències	Coordinación del sistema autonómico de emergencias y del 112 Comunitat Valenciana	Interlocutor para la integración operativa y para el reconocimiento de la herramienta como medio municipal. Destinatario de la solicitud de evaluación técnica.
Dirección General competente en prevención de incendios forestales	Planificación preventiva forestal · Plan Especial frente al Riesgo de Incendios Forestales	Contraste del módulo de incendios y de los modelos de combustible del capítulo 8 con la cartografía forestal autonómica.
Órgano competente en ordenación del territorio	PATRICOVA · riesgo de inundación en el planeamiento	Contraste obligado del módulo hidráulico con la zonificación PATRICOVA vigente.
IVASPE · Instituto Valenciano de Seguridad Pública y Emergencias	Formación del personal de emergencias	Vía para incorporar la plataforma como material formativo y de simulacro.
Institut Cartogràfic Valencià	Infraestructura de datos espaciales de la Comunitat Valenciana	Interlocutor para la conformidad INSPIRE y el acceso a capas autonómicas.

33.2 · El trámite de homologación del plan

Tabla 33.2 — Secuencia del trámite autonómico.

Nº	Actuación	Contenido	Plazo estimado
1	Redacción o revisión del Plan de Actuación Municipal	Con la plataforma incorporada en los apartados de la Tabla 32.3	2 – 4 meses
2	Aprobación del plan por el Pleno	Acuerdo plenario	1 sesión
3	Remisión a la Generalitat	Plan aprobado más documentación técnica anexa	Inmediato
4	Informe de los servicios técnicos autonómicos	Posibles requerimientos de subsanación	3 – 6 meses
5	Homologación por la Comisión de Protección Civil	Acuerdo de homologación	Según calendario de sesiones

PUNTO CRÍTICO DEL TRÁMITE

En el paso 4, el técnico autonómico examinará si las salidas de la plataforma **contradicen** la cartografía oficial de peligrosidad. Si lo hacen sin explicación, el plan se devuelve. Por eso el capítulo 30 y el apartado 20.3 son decisivos: la plataforma debe presentarse siempre como *complemento* de PATRICOVA y del SNCZI, con sus limitaciones declaradas, y sus resultados deben mostrarse *junto a* la mancha oficial, nunca en su lugar. Una zona verde de la plataforma sobre suelo clasificado como inundable por PATRICOVA es exactamente el tipo de discrepancia que hay que anticipar y explicar antes de que la detecte el evaluador.

Administración hidráulica

El río Monnegre pertenece a la demarcación de la **Confederación Hidrográfica del Júcar**, organismo autónomo adscrito al Ministerio para la Transición Ecológica. Su papel en este itinerario es distinto del de los anteriores y conviene no confundirlo.

34.1 · Qué hace y qué no hace la Confederación

Tabla 34.1 — Competencias del organismo de cuenca en relación con la plataforma.

Cuestión	¿Compete?	Observación
Homologar un simulador hidráulico municipal	No	No existe tal procedimiento. La Confederación no certifica software.
Informar en materia de dominio público hidráulico	Sí	Es preceptivo su informe en actuaciones que afecten al cauce o a la zona de policía.
Facilitar los datos oficiales del cauce	Sí	Caudales de diseño, estudios de inundabilidad, delimitación del dominio público hidráulico.
Ceder telemetría del sistema de información hidrológica	Sí	Ya se consume el dato público; un convenio permitiría acceso más estable y con mayor frecuencia.
Validar los resultados hidráulicos	Indirectamente	A través del contraste con sus propios estudios de la ARPSI correspondiente.

34.2 · Las tres solicitudes concretas que deben cursarse

Tabla 34.2 — Solicitudes a la Confederación Hidrográfica del Júcar.

Solicitud	Fundamento	Efecto sobre la plataforma
Caudal de diseño del encauzamiento del Monnegre	Derecho de acceso a la información ambiental · Ley 27/2006	Resuelve la limitación declarada en la Tabla 30.2. Sustituye una estimación por el dato oficial. Es la solicitud más importante de las tres.
Estudios de inundabilidad de la ARPSI del Monnegre	Ídem · RD 903/2010	Permite el contraste formal del capítulo 27 contra un estudio oficial de detalle.
Aforo del Monnegre y convenio de acceso al SAIH	Ley 40/2015, convenios entre administraciones	Más importante de lo que parece. Está comprobado que el Monnegre no tiene estación de aforo en la red del SAIH (capítulo 21), de modo que el caudal no es un dato que baste con «conectar»: hoy no se mide. La solicitud debe plantear tanto el acceso estable a la pluviometría existente como la conveniencia de instrumentar el cauce.

RECOMENDACIÓN DE SECUENCIA

Estas tres solicitudes **pueden cursarse desde ya**, sin esperar a ningún otro trámite, y no dependen de decisión política: son peticiones de información amparadas en el derecho de acceso. Son, con diferencia, la actuación de mejor relación entre esfuerzo y mejora de la calidad técnica del sistema.

Administración General del Estado y Unión Europea

35.1 · Dirección General de Protección Civil y Emergencias

Órgano del Ministerio del Interior responsable del Sistema Nacional de Protección Civil, de la Red de Alerta Nacional y de la Red Nacional de Información sobre Protección Civil. Su relación con una herramienta municipal es de **conocimiento e interoperabilidad**, no de autorización: no homologa herramientas de ámbito local.

35.2 · Los organismos de datos

Tabla 35.1 — Organismos estatales productores de los datos que consume la plataforma.

Organismo	Dato	Trámite necesario
Instituto Geográfico Nacional	Ortofoto PNOA y modelo digital del terreno	Ninguno. Uso libre con cita de la fuente. Verificar que la atribución figura en todas las salidas impresas.
Dirección General del Catastro	Geometría y referencia de parcela	Servicios públicos de consulta. Sin datos de titularidad.
MITECO	Cartografía SNCZI de zonas inundables	Uso libre con cita de la fuente.
AEMET	Predicción, avisos y observación	Alta en el servicio de datos abiertos. Condiciones de uso que exigen cita expresa.

35.3 · ES-Alert: la precisión más importante de todo el volumen

UN AYUNTAMIENTO NO EMITE ES-ALERT

El sistema **ES-Alert** de aviso masivo a población por difusión celular está operado por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias en coordinación con los órganos competentes de las comunidades autónomas. **Un ayuntamiento no dispone de capacidad de emisión:** solicita el envío a la autoridad competente, que decide y emite.

En consecuencia, lo que la plataforma ofrece es la **preparación y el ensayo del mensaje**: redacción del texto conforme al formato, delimitación de la zona afectada y simulación del aviso para adiestramiento. **No emite ni puede emitir ningún aviso real.** Cualquier documento, panel o demostración que sugiera lo contrario debe corregirse de inmediato: es la clase de afirmación que, ante la Administración competente, invalidaría la credibilidad de todo lo demás.

35.4 · Ámbito europeo

Tabla 35.2 — Marco e instrumentos europeos.

Instrumento	Naturaleza	Relación con la plataforma
Directiva INSPIRE 2007/2/CE	Interoperabilidad de la información geográfica	La plataforma consume exclusivamente servicios conformes. La declaración de conformidad es un argumento sólido ante cualquier evaluador.
Directiva 2007/60/CE de inundaciones	Evaluación y gestión del riesgo	Los tres periodos de retorno implementados son los que la directiva exige.

Instrumento	Naturaleza	Relación con la plataforma
Copernicus EMS	Servicio europeo de cartografía rápida de emergencia	Su activación corresponde exclusivamente a los usuarios autorizados — punto focal nacional y autoridades designadas —; un ayuntamiento no activa el servicio. Sus productos publicados sí son utilizables como referencia de validación (capítulo 27).
Mecanismo de Protección Civil de la Unión	Cooperación y financiación	Vía de financiación para proyectos de prevención y preparación, potencialmente aplicable a la fase de validación.

CAPÍTULO 36

Validación pericial universitaria

De todas las actuaciones de este volumen, la validación científica independiente es la que más transforma la posición de la plataforma. Convierte «los desarrolladores afirman que resuelve Rothermel» en «un tercero cualificado lo ha comprobado y lo ha puesto por escrito».

36.1 · Qué es y qué no es un dictamen universitario

Tabla 36.1 — Naturaleza del dictamen.

Es	No es
Un informe técnico firmado por personal investigador, emitido al amparo de un contrato o convenio de la universidad	Un acto administrativo ni una autorización
Una comprobación independiente de que las ecuaciones implementadas son las que se declaran y están correctamente resueltas	Una garantía de que los resultados serán correctos en cualquier episodio
Un documento aportable a un expediente administrativo como prueba de solvencia técnica	Un sustituto de la homologación del plan municipal

36.2 · Instituciones idóneas por materia

Tabla 36.2 — Candidatos para la validación, por ámbito de especialización.

Institución	Especialidad	Objeto del encargo
Universidad de Alicante Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales · Departamento de Análisis Geográfico Regional	Hidrología mediterránea, riesgo de inundación, climatología del sureste peninsular	Candidato preferente. Es la universidad del territorio, conoce el Monnegre y la comarca, y la proximidad facilita el trabajo de campo y el compromiso institucional.
Universitat Politècnica de València Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente	Modelización hidráulica bidimensional	Contraste del esquema del capítulo 17 frente a un modelo de aguas someras completas sobre el mismo caso.
Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo	Ecología del fuego y meteorología mediterránea	Revisión de los modelos de combustible del capítulo 8 y del comportamiento en matorral, que es donde se concentra la desviación documentada.
Universitat de València Departamento de Geografía · Física de la Tierra	Riesgos naturales y climatología	Revisión del marco de riesgo y de la caracterización territorial del capítulo 1.

36.3 · Cómo se articula el encargo

La vía natural es un contrato de apoyo tecnológico al amparo del artículo 60 de la Ley Orgánica del Sistema Universitario —el tradicional «artículo 83»—, que permite a la universidad prestar servicios de asesoramiento técnico a entidades públicas y privadas. Puede suscribirlo el Ayuntamiento o el propio desarrollador.

Tabla 36.3 — Contenido recomendado del encargo.

Apartado	Contenido a solicitar expresamente
Revisión de formulación	Comprobación de que las ecuaciones implementadas se corresponden con las publicadas y de que los coeficientes son los originales. Los Volúmenes II y III están redactados para hacer esta revisión posible sin acceder al código.

Apartado	Contenido a solicitar expresamente
Verificación numérica independiente	Reproducción de las Tablas 26.2 y 26.3 con implementación propia del evaluador.
Contraste de huella	Comparación de la mancha simulada frente a la observada en un episodio real, con índice cuantitativo de coincidencia espacial. Es el entregable de mayor valor.
Análisis de sensibilidad independiente	Contraste del capítulo 13 con metodología propia.
Dictamen sobre el ámbito de uso	Pronunciamiento expreso sobre para qué es apta la herramienta y para qué no. Este apartado, aunque parezca contrario al interés del desarrollador, es el que da valor al conjunto.

SOBRE EL COSTE Y EL PLAZO

Un encargo de este alcance se sitúa habitualmente en el rango de varios miles de euros y en un plazo de tres a seis meses, con variación considerable según la institución y el detalle del contraste de huella. Estas cifras son orientativas: el importe exacto sólo lo determina la oferta de cada institución. Existe la posibilidad de articularlo como **trabajo fin de máster o tesis doctoral cotutelada**, lo que reduce el coste de forma sustancial a cambio de plazos más largos.

Protección de datos, propiedad intelectual y responsabilidad

37.1 · Protección de datos personales

El diseño de la plataforma **evita el dato personal por construcción**, lo que simplifica extraordinariamente el cumplimiento.

Tabla 37.1 — Análisis de tratamientos.

Función	¿Dato personal?	Fundamento
Censo de población afectada	No	Estimación estadística por densidad zonal. No identifica ni permite identificar a persona alguna.
Consulta de parcela	No	Se emplea geometría y referencia catastral, sin datos de titularidad.
Chat vecinal	Potencialmente	Opera con alias anónimo y sin registro. El riesgo real es que un vecino escriba voluntariamente un dato personal en el texto. Debe preverse política de conservación y borrado.
Asistente conversacional	Potencialmente	Ídem. Debe informarse de que las consultas se procesan mediante un servicio externo, y de cuál.
Sujetos situados en el mapa	Sí, si se nombran	Durante una emergencia real puede situarse a personas concretas. Ese tratamiento tiene amparo en el interés vital y en el cumplimiento de una misión de interés público, pero debe constar en el registro de actividades de tratamiento del Ayuntamiento.

Tabla 37.2 — Actuaciones exigibles en materia de protección de datos.

Actuación	¿Obligatoria?	Observación
Inclusión en el registro de actividades de tratamiento	Sí	Si el Ayuntamiento asume la plataforma como sistema propio.
Contrato de encargado del tratamiento	Sí	Con el desarrollador, conforme al artículo 28 del RGPD.
Evaluación de impacto	Probablemente no	No hay tratamiento a gran escala de categorías especiales. La decisión corresponde al delegado de protección de datos municipal.
Política de privacidad y aviso legal	Sí	Visible desde la propia aplicación.
Política de conservación del chat	Sí	Plazo definido y borrado automático.

37.2 · Accesibilidad

UN REQUISITO QUE SUELE PASARSE POR ALTO

Si la plataforma se publica bajo dominio municipal, queda sujeta al **Real Decreto 1112/2018** sobre accesibilidad de los sitios web del sector público, que exige conformidad con la norma **UNE-EN 301549**, declaración de accesibilidad publicada y mecanismo de comunicación. Un visor cartográfico interactivo no alcanza nunca la conformidad plena, pero **sí debe publicar una declaración de accesibilidad parcial** que identifique el contenido no accesible y ofrezca una alternativa —en este caso, los informes en PDF y el asistente conversacional, que incluye lectura en voz alta—. Preverlo ahorra un requerimiento posterior.

37.3 · Propiedad intelectual

Tabla 37.3 — Régimen de propiedad intelectual.

Elemento	Titularidad	Régimen
Código fuente de los motores	INTELLIGENTIA	Obra protegida por el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual. Objeto de licencia de uso al Ayuntamiento.
Modelos físicos implementados	Dominio público científico	Rothermel, Byram, Témez y demás son conocimiento publicado. Nadie es titular de una ecuación ; la protección recae sobre la implementación.
Cartografía base	IGN, Catastro, MITECO	Licencias de datos abiertos con obligación de cita.
Datos de OpenStreetMap	Comunidad OSM	Licencia ODbL, con obligaciones de atribución y de compartir en las mismas condiciones las bases derivadas.
Este dossier	INTELLIGENTIA	De difusión libre, cedido para uso institucional.

DECISIÓN PENDIENTE QUE CONVIENE TOMAR PRONTO

Debe decidirse el modelo de licencia al Ayuntamiento: licencia de uso indefinida, licencia por suscripción, o cesión del código con custodia en depósito para garantizar la continuidad si el desarrollador cesa su actividad. Esta última —el *depósito de fuentes*— es la fórmula que más tranquiliza a una intervención municipal y la que se recomienda incluir en la propuesta contractual del capítulo 38.

37.4 · Responsabilidad

Es la cuestión que más preocupará, con razón, a la Secretaría del Ayuntamiento: *¿qué ocurre si se toma una decisión apoyada en la plataforma y el resultado es lesivo?*

Tabla 37.4 — Delimitación de responsabilidades.

Sujeto	Responsabilidad	Fundamento
Autoridad municipal	De la decisión adoptada	La decisión de protección civil es un acto de la autoridad. La herramienta informa; no decide. La responsabilidad patrimonial se rige por la Ley 40/2015.
Desarrollador	De que la herramienta haga lo que su documentación declara	Responsabilidad contractual. Este dossier delimita el alcance de lo declarado, incluidas sus limitaciones.
Operador	De emplear parámetros razonables y de interpretar el resultado con su incertidumbre	De ahí que la formación del capítulo 40 forme parte del sistema.

EL ARGUMENTO QUE CONVIENE TENER PREPARADO

La diligencia exigible a una administración se valora, entre otros factores, por **los medios de análisis de que disponía y por el uso que hizo de ellos**. Disponer de una herramienta que aplica los modelos técnicos de referencia, conservar el registro del análisis realizado y tener declaradas sus limitaciones es, en un eventual procedimiento de responsabilidad, un **elemento de defensa, no de exposición**. La situación de riesgo jurídico es la contraria: decidir sin ningún análisis disponiendo de medios para hacerlo.

CAPÍTULO 38

Contratación pública

Este capítulo responde a una pregunta muy concreta: **¿cómo puede el Ayuntamiento incorporar legalmente la plataforma?** Se exponen tres vías, con sus requisitos y sus inconvenientes.

Tabla 38.1 — Vías de adquisición conforme a la Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público.

Vía	Requisitos	Ventaja	Inconveniente
Contrato menor de servicios	Importe inferior al umbral legal · duración máxima de un año sin prórroga · informe de necesidad	Tramitación muy ágil. Permite empezar con una fase piloto.	No permite continuidad plurianual. Obliga a repetir el procedimiento.
Contrato de servicios por procedimiento abierto	Pliegos técnicos y administrativos · publicidad · plazos legales	Solución estable y plurianual. Es la vía correcta para el servicio definitivo.	Plazo de tramitación de varios meses. Exige redactar pliegos que no predeterminen al adjudicatario.
Convenio o cesión de uso	Ley 40/2015 · sin contra-prestación económica	Permite una fase de prueba y evaluación sin coste ni licitación.	No genera obligación de mantenimiento. Adecuado como paso previo, no como solución final.

38.1 · Secuencia recomendada

1. **Cesión de uso gratuita por convenio** para una fase de evaluación de seis a doce meses, durante la cual se emiten los informes técnicos del capítulo 32 y se realiza el simulacro. No requiere crédito presupuestario ni licitación.
2. **Contrato de servicios** para el mantenimiento, la evolución y la formación una vez evaluada, con pliegos redactados a partir de la experiencia de la fase anterior.

ADVERTENCIA SOBRE LOS PLIEGOS

Si se llega a licitación, los pliegos deben describir **funcionalidades y resultados, no la plataforma concreta**. Unos pliegos redactados de modo que sólo un producto pueda cumplirlos son impugnables y comprometen al Ayuntamiento. Los Volúmenes II a V de este dossier proporcionan la base para redactar prescripciones técnicas objetivas —modelos exigidos, magnitudes de salida, formatos de exportación, validación requerida— que cualquier licitador solvente pueda cumplir.

38.2 · Vías de financiación

Tabla 38.2 — Vías de financiación potencialmente aplicables.

Vía	Objeto financiable
Subvenciones autonómicas a entidades locales en materia de protección civil y prevención de incendios forestales	Medios técnicos y planificación preventiva municipal
Programas de la Diputación Provincial de Alicante para municipios	Asistencia técnica y equipamiento municipal
Mecanismo de Protección Civil de la Unión Europea	Proyectos de prevención y preparación, incluida la validación científica
Fondos de transformación digital de la administración local	Digitalización de servicios municipales

PREVISIO · Dossier Técnico · MP-3.7-331e9102 · emitido el 6 de septiembre de 2026 · PREVISIO v 1.0 · Creada por INTELLIGENTIA.dev

La existencia, la denominación exacta y las condiciones de estas líneas varían cada ejercicio. Su comprobación en el momento de la solicitud corresponde a los servicios municipales.

Cronograma integrado y estado de cada trámite

39.1 · Estado real a fecha de este documento

DECLARACIÓN DE ESTADO

A 31 de julio de 2026, ninguno de los trámites de este volumen ha sido iniciado formalmente ante ninguna administración. Lo que existe es la documentación técnica que los hace posibles —este dossier— y la plataforma en funcionamiento. Se declara expresamente para evitar cualquier equívoco: presentar como «en tramitación» lo que aún no se ha registrado sería una afirmación falsa, y bastaría una consulta al órgano correspondiente para desmentirla.

Tabla 39.1 — Estado de cada actuación.

Actuación	Estado	Impulsa	Requisito previo
Documentación técnica completa	Completada	INTELLIGENTIA	—
Solicitud de datos a la Confederación Hidrográfica	Preparada · no cursada	Ayuntamiento o desarrollador	Ninguno. Puede cursarse de inmediato
Validación de huella contra imagen de radar	No iniciada	INTELLIGENTIA	Selección del episodio de contraste
Presentación institucional al Ayuntamiento	Pendiente	INTELLIGENTIA	Este dossier
Informe de los servicios técnicos municipales	No iniciado	Ayuntamiento	Presentación institucional
Convenio de cesión de uso para evaluación	No iniciado	Ayuntamiento	Informes técnicos favorables
Encargo de validación universitaria	No iniciado	Ayuntamiento o desarrollador	Decisión sobre financiación
Incorporación al Plan de Actuación Municipal	No iniciada	Ayuntamiento	Acuerdo plenario
Homologación por la Comisión de Protección Civil	No iniciada	Ayuntamiento	Plan aprobado por el Pleno
Simulacro con Policía Local y Protección Civil	No iniciado	Ayuntamiento	Convenio de cesión

39.2 · Cronograma



39.3 · Las tres actuaciones que pueden empezar mañana

SIN ESPERAR A NINGUNA DECISIÓN

1. **Cursar las tres solicitudes de información a la Confederación Hidrográfica del Júcar** (Tabla 34.2). No requieren acuerdo, ni crédito, ni licitación, y resuelven una limitación declarada del modelo.
2. **Ejecutar la validación de huella contra imagen de radar de Copernicus**. Es trabajo técnico interno y desbloquea el argumento central ante cualquier evaluador.
3. **Presentar este dossier a la Alcaldía y a las concejalías competentes**. Es la aportación específica que se solicita a las instituciones competentes y el requisito del que depende todo lo demás.

RECOMENDACIÓN FINAL DEL VOLUMEN

La tentación política será presentar la plataforma como «homologada» o «en proceso de homologación oficial» porque suena mejor. Es un error de cálculo: cualquier técnico municipal comprobará el estado real en una llamada, y el desmentido arruinaría la credibilidad de un trabajo que la merece. La formulación correcta, y la que sostiene todo este documento, es: **«plataforma en funcionamiento, con su documentación técnica completa y sus limitaciones declaradas, cuyo itinerario de reconocimiento institucional está definido y listo para iniciarse»**. Eso es cierto, es comprobable, y es más fuerte de lo que parece.

VOLUMEN VII

Operación

Cómo se maneja la plataforma en sala durante un episodio, qué informes produce y qué exige del departamento de informática municipal para funcionar y mantenerse.

Capítulo 40. Manual de operación en sala y guía de demostración

Capítulo 41. Los nueve informes oficiales exportables

Capítulo 42. Requisitos técnicos, despliegue y mantenimiento

Manual de operación y guía de demostración

40.1 · Las cinco advertencias que debe conocer todo operador

Antes del procedimiento, las advertencias. Un operador que desconozca estas cinco cosas producirá resultados con apariencia de rigor y contenido equivocado.

Tabla 40.1 — Advertencias operativas de obligado conocimiento.

Nº	Advertencia	Consecuencia práctica
1	El modelo subestima en matorral	La desviación medida es de -6,1 m/min, en la dirección optimista (capítulo 27). Tomar siempre el extremo desfavorable del tiempo disponible al decidir una evacuación.
2	La punta tardía es el caso desfavorable	Para análisis de peligrosidad, ejecutar el hietograma con punta tardía (capítulo 15). El escenario centrado subestima el volumen de escorrentía.
3	El calado es zonal, no de portal	La malla no ve bordillos ni rampas de garaje. Nunca comunicar una cifra de calado referida a una dirección concreta.
4	El satélite llega tarde	De tres a cinco horas de latencia. No es alerta temprana: sirve para confirmar posición, no para descubrir el incendio.
5	Una zona verde no es un aval	Indica dominancia topográfica y ausencia de lámina en ese escenario. No prejuzga calificación urbanística, licencia ni situación registral.

40.2 · Cómo se comunica la plataforma con el operador

Tres canales, con jerarquía distinta. Conviene conocerla antes de operar, porque cada uno exige una reacción diferente.

Tabla 40.2 — Canales de comunicación con el operador.

Canal	Dónde aparece	Qué significa
Franja de avisos de AEMET	Bajo la cabecera, a todo lo ancho	Máxima jerarquía. Es el único contenido de la plataforma con valor jurídico operativo: un aviso oficial de la agencia estatal. Si no hay riesgo, la franja no aparece —un indicador permanente en verde enseña a ignorarla—. Si aparece en rojo, parpadea.
Barra de estado	Cabecera del panel táctico	Estado de la simulación en curso: focos activos, instrucción pendiente, resultado de la última acción.
Avisos flotantes	Esquina inferior derecha	Incidencias puntuales: una ignición rechazada, un servicio que no responde, una acción que requiere un paso previo. Se van solos y no detienen nada.

POR QUÉ NO HAY DIÁLOGOS DEL SISTEMA

La plataforma **no emplea ningún diálogo modal del navegador**. Se retiraron los once que quedaban. Un diálogo de ese tipo no sólo obliga a interrumpir la explicación y cerrarlo a mano: **detiene el hilo de ejecución**, de modo que la simulación se congela mientras permanece abierto y el reloj del episodio se para sin que se vea el motivo. En una sala de mando —y en una comparecencia pública— eso es peor que el propio incidente que se pretendía comunicar.

40.3 · Procedimiento en sala: incendio forestal declarado

Tabla 40.3 — Secuencia de operación ante un incendio.

Paso	Acción	Detalle y criterio
1	Situar el foco	Un clic sobre la ortofoto en la posición notificada. Si procede de detección satelital, ya aparece situado; confirmarlo antes de usarlo.
2	Introducir la meteorología real	Viento, temperatura y humedad del momento. Es el paso que más condiciona el resultado (capítulo 13). Si no se dispone del dato local, usar el de la estación más próxima y anotarlo.
3	Ajustar pendiente y orientación	Solana, umbría o poniente según la ladera afectada. Modifica la humedad efectiva del combustible.
4	Fijar el factor de racha	Es el que decide el paso a copas (Tabla 10.1). Ante duda, emplear un valor conservador y alto.
5	Ejecutar y leer la telemetría	Velocidad de propagación, intensidad, longitud de llama y actividad de copas. Contrastar la longitud de llama con la Tabla 6.2 para decidir el tipo de ataque.
6	Situar personas y puntos sensibles	Obtener el tiempo de llegada direccional a cada uno (capítulo 12).
7	Calcular rutas de evacuación	Comprobar que la ruta propuesta no cruza el polígono activo. Si no hay ninguna limpia, la plataforma entrega la de menor exposición: es una situación crítica que debe comunicarse como tal.
8	Ensayar el escenario adverso	Repetir con viento un 50 % superior. Si el resultado cambia la decisión, decidir con el escenario adverso.
9	Exportar y archivar	Informe CECOPI y censo. Queda constancia del análisis realizado, que es relevante a efectos del capítulo 37.

40.4 · Procedimiento en sala: aviso de lluvias intensas

Tabla 40.4 — Secuencia de operación ante un episodio pluvial.

Paso	Acción	Detalle y criterio
1	Introducir la precipitación prevista	De los avisos oficiales de AEMET. Un litro por metro cuadrado equivale exactamente a un milímetro.
2	Fijar duración y punta	Emplear punta tardía para el análisis de peligrosidad (advertencia 2).
3	Declarar el estado antecedente del suelo	Es el parámetro que más cambia el resultado. Tras días de lluvia, saturación alta.
4	Declarar la capacidad del alcantarillado	En una DANA la red se colapsa por arrastres: reducir la capacidad es el supuesto realista, no el pesimista.
5	Añadir el aporte del cauce si procede	Consultar el caudal real del SAIH. Distinguir avenida de vaciado (capítulo 19).
6	Ejecutar y leer en modo peligrosidad	No basta el calado: la vista de peligrosidad combina calado y velocidad según el criterio del capítulo 20.
7	Identificar zonas seguras y viario cortado	Base para el dispositivo de corte de tráfico y para la ubicación de puntos de reunión.
8	Contrastar con la cartografía oficial	Activar la capa del SNCZI y la de PATRICOVA. Si hay discrepancia, prevalece la oficial y debe explicarse.
9	Exportar y archivar	Informe de daños por agua y de población afectada.

40.5 · Guía de demostración institucional

Secuencia recomendada para una presentación de veinte minutos ante responsables políticos, medios o vecinos. Está diseñada para que el argumento se construya solo.

Tabla 40.5 — Guion de demostración.

Minuto	Acción	Qué demuestra
0 – 2	Abrir sobre la ortofoto del término	Que se trabaja sobre Mutxamel real, no sobre un mapa genérico.
2 – 4	Lanzar un escenario preconfigurado desde la guía interactiva	Que no hace falta ser técnico para obtener un resultado.
4 – 8	Situar un foco y desplazar el control de dirección del viento	El momento decisivo de la demostración: el frente gira al instante. Se ve que hay física detrás, no una animación grabada.
8 – 11	Situar una persona y mostrar su tiempo de llegada y su ruta	Que la herramienta responde a la pregunta que importa: cuánto tiempo hay.
11 – 15	Conmutar a inundaciones y lanzar el episodio	Que es una plataforma doble, no dos productos.
15 – 18	Ejecutar el mismo episodio con obra y sin obra de drenaje	El argumento de inversión municipal: misma tormenta, mismo hietograma, misma saturación; la única diferencia es el colector.
18 – 20	Exportar un informe en PDF	Que el resultado sale del ordenador y entra en un expediente.

SI UN TÉCNICO PREGUNTA POR EL RIGOR DEL MODELO

La respuesta correcta no es defender la herramienta: es **entregarle los Volúmenes II, III y V** y ofrecerle repetir el protocolo de verificación del capítulo 29 en su presencia. Y mencionar de forma expresa, sin esperar a que lo pregunte, el capítulo 30 de limitaciones. Un técnico que descubre por sí mismo que el modelo subestima en matorral se vuelve un obstáculo; uno a quien se lo dicen antes se convierte en interlocutor.

40.6 · Formación mínima

Tabla 40.6 — Programa de formación por perfil.

Perfil	Duración	Contenido
Operador de sala	4 h	Advertencias de la Tabla 40.1, ambos procedimientos, lectura de telemetría e interpretación de la incertidumbre.
Mando · jefe de guardia	2 h	Interpretación de resultados, límites de validez y criterio de comunicación de la Tabla 28.3.
Técnico municipal	6 h	Volúmenes II a V completos, protocolo de verificación y contraste con cartografía oficial.
Informática municipal	2 h	Capítulo 42, despliegue, copias de seguridad y reversibilidad.

CAPÍTULO 41

Los nueve informes oficiales

Todos se generan en un clic, con el estado de la simulación en curso, y salen en PDF listo para incorporarse a un expediente.

Tabla 41.1 — Informes exportables.

Nº	Informe	Contenido y destinatario
MÓDULO DE INCENDIOS FORESTALES		
1	Dossier de presentación institucional	El presente documento. Destinatario: responsables políticos, técnicos evaluadores y servicios jurídicos.
2	Informe CECOPI	Telemetría del episodio: velocidad de propagación, intensidad, longitud de llama, actividad de copas e instalaciones sensibles amenazadas. Destinatario: dirección de la emergencia.
3	Informe censal y asistencial	Desglose de la población afectada sobre un censo de referencia de 28.621 personas, con proyección de necesidades sanitarias: mayores, menores y personas con oxigenoterapia. Destinatario: servicios sociales y sanitarios.
4	Parte meteorológico de 24 horas	Previsión hora a hora, rachas e índice de Haines. Destinatario: planificación del dispositivo.
5	Valoración econométrica de daños	Tasación de superficie forestal, viviendas y vehículos afectados. Destinatario: expediente de solicitud de declaración de zona afectada gravemente por una emergencia de protección civil.
MÓDULO DE INUNDACIONES		
6	Valoración de daños por agua	Desglose por umbrales de calado: viviendas, garajes, vehículos, viario y limpieza de lodos.
7	Viviendas, bajos y población afectada	Edificaciones por situación con su actuación asociada, población vulnerable e instrucciones de autoprotección.
8	Comparativa con obra y sin obra	Daños que evita una obra de drenaje en un solo episodio. Destinatario: justificación de la inversión municipal.
ATENCIÓN AL CIUDADANO		
9	Informe de riesgo de una parcela	Veredicto según la cartografía oficial del Estado en los tres periodos de retorno, calado simulado, cota, altura sobre el entorno y plano de situación sobre ortofoto del PNOA. Emitido expresamente como estudio privado orientativo, sin valor certificante y sin firma municipal.

SOBRE EL INFORME NÚMERO 9

Es el que más cuidado exige. Un vecino que consulta si una parcela es inundable antes de comprarla está tomando una decisión patrimonial. La cabecera del informe identifica a INTELLIGENTIA como estudio privado, declara expresamente que **no tiene valor certificante y nunca se emite con identidad municipal**. Esta separación no es una formalidad: es lo que impide que el Ayuntamiento resulte comprometido por una decisión privada de compraventa.

Requisitos técnicos y mantenimiento

DIRIGIDO AL SERVICIO DE INFORMÁTICA DEL AYUNTAMIENTO

Este capítulo existe para que la compra de medios se haga con criterio y sin gastar de más. Todas las cifras están medidas sobre la aplicación real, no tomadas de una ficha comercial, y se indica expresamente dónde el gasto mejora el rendimiento y, sobre todo, **dónde no lo mejora**.

42.1 · Lo primero que hay que saber antes de comprar nada

Dos hechos determinan toda la decisión de compra, y ambos son contraintuitivos:

- El cálculo hidráulico se resuelve en un solo hilo de ejecución. Importa la potencia de un núcleo, no cuántos núcleos haya. Una estación de treinta y dos núcleos a frecuencia moderada resolverá el episodio más despacio que un equipo de ocho núcleos con mayor rendimiento por núcleo, y costará varias veces más.
- El cálculo no viaja por la red: se ejecuta íntegramente en el equipo del operador. Contratar más caudal de internet no acelera una simulación ni un segundo.

42.2 · Requisitos del puesto de operación

Tabla 42.1 — Requisitos del equipo cliente, con indicación expresa de qué aporta y qué no aporta gastar más.

Componente	Mínimo funcional	Recomendado	Por qué, y qué no aporta gastar más
Procesador	4 núcleos, cualquier generación de los últimos seis años	8 núcleos o más con alto rendimiento por núcleo, de gama actual	Es el componente que determina el tiempo de cálculo. Priorizar frecuencia y rendimiento monohilo sobre número de núcleos. Un procesador de servidor de muchos núcleos y baja frecuencia es una mala compra para esta aplicación.
Memoria	8 GB	16 GB	La malla más fina ocupa 39 MB de datos; el consumo real lo impone el navegador, no el simulador. Con 16 GB sobra margen para tener abiertos a la vez el visor, el correo y la cartografía oficial. Pasar de 32 o 64 GB no mejora nada.
Gráficos	Integrados de generación reciente	Integrados modernos bastan; dedicada de gama de entrada sólo si se va a proyectar en 4K o en panorámica	La aplicación dibuja en lienzo bidimensional acelerado, no en tres dimensiones. No se necesita gráfica de gama alta ni profesional. Lo que sí importa es que la aceleración por hardware esté activada en el navegador : desactivarla multiplica por tres el coste de cada fotograma.
Almacenamiento	SSD con 5 GB libres	SSD NVMe	La aplicación no guarda datos pesados en el equipo. El disco influye en el arranque del navegador y en la caché de teselas cartográficas, no en el cálculo.
Navegador	Cualquiera actual y actualizado	Versión reciente con aceleración por hardware activa	Se requieren trabajadores en segundo plano, búferes transferibles y arrays tipados: presentes en todos los navegadores actuales. No funciona en navegadores anteriores a 2020.
Conexión	10 Mbps	50–100 Mbps con baja latencia	El caudal sólo afecta a la carga de cartografía. Importa más la latencia hacia los servidores del IGN y del Ministerio que el caudal contratado (Figura 21.1).
PREVISIO · Dossier Técnico · MP-3.7-331e9102 · emitido el 6 de septiembre de 2026 · PREVISIO v 1.0 · Creada por INTELLIGENTIA.dev			
Instalación	Ninguna. No requiere software adicional ni permisos de administrador en el equipo municipal.		

42.3 · Consumo de red medido

Tabla 42.2 — Consumo de red por operación, medido sobre la aplicación real.

Operación	Peticiones	Transferido
Carga inicial de la aplicación, con caché vacía	94	2,39 MB
Cambio al módulo de inundaciones (terreno y usos del suelo)	2	0,46 MB
Resolver un episodio completo de tormenta	0	0 bytes
Consulta de una parcela a la cartografía oficial	4	≈ 0,2 MB

Una sesión de trabajo de una hora se mueve en el orden de 20 a 40 MB, en su mayor parte teselas cartográficas que además quedan en caché. Es un consumo comparable al de navegar por una web corriente: cualquier línea municipal actual lo soporta de sobra. La fila destacada es la que desmonta el argumento de contratar más caudal: **el cálculo no consume red en absoluto**.

42.4 · Pantallas: coste por fotograma medido

Tabla 42.3 — Coste de dibujo por fotograma según el formato de pantalla.

Formato	Megapíxeles	Coste por fotograma	Valoración
1920 × 1080 · Full HD	2,1	35,9 ms	Suficiente para el trabajo diario en puesto individual.
2560 × 1440 · QHD 27"	3,7	43,1 ms	El mejor equilibrio. Caben el panel de mando, el mapa y el chat vecinal sin solaparse.
3440 × 1440 · panorámica 34"	5,0	51,6 ms	La opción recomendada para la sala del CECOPI. El formato 21:9 encaja con la disposición de la aplicación: controles a la izquierda, cartografía en el centro, avisos a la derecha.
3840 × 2160 · 4K UHD	8,3	67,8 ms	Sólo si se va a proyectar ante público. Conviene aquí una gráfica dedicada de gama de entrada.

Medido en **el caso más desfavorable posible: sin aceleración gráfica alguna**. Con la aceleración activada, que es como funciona cualquier equipo normal, estos tiempos se reducen sustancialmente. Son por tanto un suelo garantizado, no el rendimiento esperable.

42.5 · Dos requisitos que suelen olvidarse y aquí sí importan

FIDELIDAD DE COLOR DE LA PANTALLA

El mapa de calados emplea una rampa de seis escalones de un solo tono, elegidos para que cada uno se distinga del anterior y para que sigan siendo legibles por personas con deficiencia en la visión del color. **Un monitor de gama baja mal calibrado fusiona escalones contiguos** y el operador deja de distinguir «entra en garajes» de «planta baja anegada». Basta con una cobertura del espacio sRGB cercana al 100 %: no hace falta un monitor profesional de edición, pero sí descartar el panel más barato del catálogo.

ACELERACIÓN POR HARDWARE ACTIVADA EN EL NAVEGADOR

Es gratuita y triplica el rendimiento de dibujo. Muchas configuraciones corporativas la desactivan por política general. **Debe comprobarse expresamente en el puesto de la sala**, porque su ausencia no produce ningún error visible: sólo hace que todo vaya tres veces más lento, y el operador lo atribuirá a la aplicación.

42.6 · Requisitos del servidor

Verificados sobre el entorno real de producción, según la Tabla 25.1. En síntesis: intérprete PHP moderno con biblioteca gráfica, capacidad de peticiones en paralelo, 640 MB de memoria por proceso y certificado TLS. No

requiere base de datos para el funcionamiento del simulador; sólo para la persistencia opcional de escenarios.

42.7 · Despliegue y reversibilidad

Tabla 42.4 — Procedimiento de despliegue.

Paso	Actuación
1	Copia de seguridad completa del directorio en producción, con marca de fecha.
2	Comprobación del entorno del servidor con el script de diagnóstico, que se sube, se consulta y se retira .
3	Subida de los ficheros modificados.
4	Verificación en navegador real conforme al protocolo del capítulo 29.
5	Comprobación expresa de que ningún fichero servido al navegador contiene credenciales.
6	Si algo falla: restaurar la copia del paso 1, o desactivar la capa PRO GIS V2 con su bandera única.

42.8 · Mantenimiento periódico

Tabla 42.5 — Calendario de mantenimiento.

Periodicidad	Actuación
Continua	Vigilancia de la disponibilidad de los servicios externos. Un cambio en un servicio oficial es la causa más probable de incidencia.
Trimestral	Comprobación de que las capas oficiales siguen sirviendo la última versión publicada.
Semestral	Repetición del protocolo de verificación del capítulo 29. Sesión de repaso con los operadores.
Anual	Revisión de la ortofoto y del modelo digital del terreno tras nuevo vuelo del PNOA. Simulacro con Policía Local y Protección Civil. Revisión de este dossier .
Ante cambio de modelo	Si se modifica un algoritmo, revisar si el dossier lo cita y actualizar la referencia. El capítulo 26.3 documenta por qué esta regla existe.

CONTINUIDAD DEL SERVICIO

La plataforma no depende de ningún proveedor de datos de pago ni de ninguna licencia que pueda revocarse. Su continuidad depende de tres cosas: que sigan existiendo los servicios públicos de datos —lo que está garantizado por la Directiva INSPIRE—, que se mantenga el alojamiento, y que exista quien atienda el mantenimiento evolutivo. Las dos primeras están aseguradas; la tercera es objeto del contrato del capítulo 38, y la fórmula de depósito de fuentes allí recomendada es la que cubre el supuesto de cese del desarrollador.

VOLUMEN VIII

Capacidades operativas, servicio al ciudadano y visión de futuro

Inventario completo de lo que la plataforma permite hacer en sala, herramienta por herramienta; el servicio de consulta de parcela dirigido al vecino; los indicadores de rendimiento medidos; y la hoja de ruta de evolución de la plataforma.

Capítulo 43. Capacidades tácticas del módulo de incendios

Capítulo 44. Capacidades tácticas del módulo hidráulico

Capítulo 45. Capacidades comunes: asistente, avisos y comunicación

Capítulo 46. Consulta de parcela: «no compre antes de simular»

Capítulo 47. Indicadores tácticos de rendimiento

Capítulo 48. Hoja de ruta estratégica 2026 – 2030

Capacidades tácticas del módulo de incendios

Los Volúmenes II y V han descrito *qué calcula* el motor y *con qué exactitud*. Este capítulo describe *qué puede hacer con ello el mando*: el inventario completo de herramientas disponibles en la sala.

Tabla 43.1 — Herramientas tácticas del módulo de incendios forestales.

Herramienta	Qué permite hacer al CECOPI
Focos de ignición múltiples	Situar uno o varios focos en cualquier punto del término. El agua no arde: el simulador rechaza las igniciones sobre el mar y sobre las balsas de riego, e informa del motivo.
Cortafuegos y líneas de defensa	Trazar barreras sobre el mapa que el motor incorpora a la física de propagación, no como mero dibujo.
Descarga de retardante aéreo	Marcar la línea de descarga del medio aéreo. El retardante actúa mojando el combustible , que es como funciona en la realidad, no frenando el viento.
Contrafuego táctico	Iniciar fuego técnico para consumir combustible por delante del frente principal.
Despliegue de recursos	Posicionar autobombas, medios aéreos, brigadas helitransportadas y el Puesto de Mando Unificado, con su radio de actuación.
Peatones y tiempo de vida	Situar y arrastrar personas por el mapa. El sistema recalcula continuamente su margen de evacuación, el frente que las amenaza y la velocidad a la que ese frente avanza <i>hacia esa persona en concreto</i> . El margen se resuelve sobre la elipse de propagación, no sobre la velocidad de cabeza: quien está a barlovento dispone de mucho más tiempo que quien tiene el frente a favor de viento. Capítulo 12.
Ruta de evacuación que rodea el fuego	Trazado que circunvala el incendio contrastando cada tramo contra el perímetro real, con anillos de seguridad de 400 a 2.600 m. Nunca conduce a un refugio ya alcanzado por las llamas.
Refugios y puntos de encuentro	Directorio con evaluación continua de tiempo de llegada, cono de humo y estado de capacidad.
Puntero de inspección	Un clic en cualquier punto devuelve su modelo de combustible y las amenazas de riesgo químico en 800 m a la redonda.
Punto objetivo	Fijar una vivienda o instalación concreta y obtener su tiempo estimado de llegada del frente.
Instalaciones peligrosas	Depósitos de gas, gasolineras y el complejo agroindustrial del término, con perímetro de exclusión de 1.200 m por riesgo de nube tóxica.
Enfoque por sectores	Aislar visualmente Monte Canya, Bonalba, Casco Urbano, La Almajada o Bec de l'Àguila.
Representación de fuego y humo	Llamas, brasas y penacho convectivo sobre la ortofoto, con ciclo solar de día y de noche para proyectar con máxima legibilidad.

LA DISTINCIÓN QUE CONVIENE SUBRAYAR ANTE UN TÉCNICO

Cortafuegos, retardante y contrafuego **no son capas de dibujo**: entran en el cálculo. El retardante, por ejemplo, se implementa elevando la humedad efectiva del combustible en la zona tratada —el mecanismo físico real—, de modo que su efecto aparece a través de la ecuación (7.5) de amortiguación por humedad y no como una reducción arbitraria de la velocidad. Es la diferencia entre simular una maniobra y colorearla.

CAPÍTULO 44

Capacidades tácticas del módulo hidráulico

Tabla 44.1 — Herramientas tácticas del módulo de inundaciones.

Herramienta	Qué permite hacer al CECOPI
Mapa de calados	Seis isoniveles de profundidad, de la lámina fina al calado crítico, con curvas de nivel que permiten leer a qué altura llega el agua en cada calle.
Mapa de velocidades	Dónde el agua corre y dónde se remansa. Una lámina quieta y una corriente del mismo calado no tienen nada que ver. Figura 17.2.
Mapa de peligrosidad	Producto calado × velocidad, con el umbral de 0,5 m²/s que el Reglamento del Dominio Público Hidráulico fija como grave riesgo para las personas. Capítulo 20.
Red de drenaje	Barrancos y vaguadas deducidos del modelo digital del terreno, con umbral de cauce a partir de 15 ha de cuenca vertiente.
Viario cortado y vados	Clasifica los 2.524 viales del término contrastando su trazado con la lámina: cortado a partir de 30 cm —el agua en movimiento arrastra un turismo— y restringido a partir de 10 cm. Los vados se deducen del cruce del vial con el cauce.
Evacuación vertical	Identifica los edificios que sirven de refugio en altura y, sobre todo, las viviendas de una sola planta con calado severo , que son las que necesitan evacuación asistida. Calcula la distancia al refugio más próximo.
Comparativa con obra y sin obra	Resuelve la misma tormenta con y sin el colector de pluviales, con idéntico hietograma y saturación previa. La única diferencia entre ambas columnas es la obra.
Avenida del cauce	Inyecta un caudal punta con su duración en el punto de entrada del Monnegre al término, para evaluar el desbordamiento fluvial por separado o sumado a la tormenta local. Capítulo 19.
Envoltentes de resultado	Delimita con línea roja las zonas claramente más castigadas y con línea verde las que quedan a salvo. El criterio se detalla en el capítulo 20 y en el 46. Es la lectura que un plenario entiende sin explicación previa.
Consulta de parcela	Un clic sobre cualquier punto devuelve su situación en la cartografía inundable oficial del Estado, el calado que alcanzaría y su altura sobre el entorno, con informe descargable. Capítulo 46.
Respuesta inmediata	Volumen caído, lluvia neta y escorrentía se actualizan en el mismo gesto de mover el deslizador, sin esperar al cálculo completo. La lámina empieza a pintarse a los 0,5 s de lanzar el episodio y la malla rápida resuelve una tormenta completa en 1,5 s.
Control de iluminación	Día pleno, atardecer, anochecer o noche, con independencia de la hora real, para proyectar ante público.

44.1 · El colector del Juncaret: el caso de uso que justifica una inversión

La comparativa con obra y sin obra no es una función genérica: está construida sobre una actuación real y en cifras de proyecto.

1,6 km LONGITUD DEL COLECTOR	18,04 m³/s CAUDAL DE DISEÑO	20.159 m³ LAMINACIÓN EN TRES BALSAS	60.000 m² ZONA VERDE ASOCIADA	13 M€ INVERSIÓN · 18 MESES DE EJECUCIÓN
---------------------------------------	-----------------------------------	--	--	--

Promovido por la Generalitat Valenciana junto a los ayuntamientos de Mutxamel y Sant Joan d'Alacant, con una financiación de 10 M€ a cargo de la Generalitat y 3 M€ de los dos consistorios. El colector discurre en paralelo al túnel de la A-7 a su paso por Mutxamel, y las tres lagunas interconectadas conforman el **primer parque fluvial de la provincia de Alicante**. Protege la calle Els Oms y los sectores de Salafranca, Canyaret, Maigmona y Rajoletes.

PREVISIO v 1.0 · Creada por INTELLIGENTIA.dev

EL ARGUMENTO QUE DE VERDAD CONVINCE

Una inversión de trece millones de euros se defiende mal con una memoria descriptiva y se defiende bien con una cifra: **los daños que evita en un solo episodio**. La plataforma produce esa cifra ejecutando dos veces el mismo escenario —misma lluvia, mismo hietograma, misma saturación previa— y restando. Es, con diferencia, el uso de mayor rentabilidad política del módulo hidráulico.

PRECISIÓN SOBRE ESTAS CIFRAS

Los datos del colector proceden del **proyecto de la actuación**, no del cálculo de la plataforma. El simulador no dimensiona la obra: representa su efecto de laminación y detración para comparar escenarios. El dimensionamiento hidráulico de una obra de drenaje corresponde a un proyecto de ingeniería con modelo de aguas someras completas, según la jerarquía de la Tabla 17.1.

44.2 · Qué aporta la actuación y qué no puede resolver

Una obra pública de trece millones de euros se defiende mejor con sus límites sobre la mesa que sin ellos. Lo que sigue no es la memoria del proyecto —que corresponde a sus redactores— sino la lectura que permite hacer esta plataforma, separando lo que la actuación resuelve de lo que seguirá sin resolver después de ejecutada.

Tabla 44.2 — Lo que la actuación aporta.

Aportación	Alcance
Retira el caudal de la superficie urbana	Los 18,04 m³/s de diseño dejan de circular por viario. Hoy el barranco descarga a través de calles que son, literalmente, su cauce de desbordamiento: Els Oms en Mutxamel y Salafranca, Canyaret, Maigmona y Rajoletes en Sant Joan.
Lamina la punta	Tres lagunas interconectadas con 20.159 m³ de retención. El daño no se produce por el volumen total caído sino por el caudal instantáneo: rebajar la punta es rebajar el daño aunque el agua acabe pasando igual.
Actúa a la escala correcta	Promovida por la Generalitat Valenciana con los ayuntamientos de Mutxamel y Sant Joan (10 M€ y 3 M€ respectivamente). Una cuenca no respeta el límite municipal, y una obra de drenaje resuelta por un solo ayuntamiento traslada el problema al vecino.
Mejora la calidad del vertido	Evita la descarga directa de las primeras aguas del barranco a la costa alicantina, que son las que arrastran los residuos acumulados en el cauce durante el estiaje.
Infraestructura blanda, no sólo tubo	60.000 m² de zona verde: el parque fluvial es a la vez el vaso de laminación, superficie permeable y espacio público. Una obra de drenaje enterrada no devuelve nada a la ciudad; ésta sí.

Tabla 44.3 — Lo que la actuación no resuelve, y conviene decir antes que lo diga otro.

Límite o riesgo	Por qué
No neutraliza una DANA	18,04 m³/s y 20.159 m³ son cifras de diseño, dimensionadas para un periodo de retorno. Frente a un episodio del orden del 29 de octubre de 2024, la retención supone una fracción mínima del volumen escurrido sobre el término. La obra resuelve los episodios frecuentes y moderados —que son la mayoría y los que más veces causan daño— pero no convierte la zona en no inundable . Prometer lo contrario es lo que destruye la credibilidad de una administración después del episodio siguiente.
Traslada agua aguas abajo	Una conducción entrega el caudal antes y más concentrado en su punto de descarga. Si el tramo receptor no está dimensionado para ese hidrograma, el problema se desplaza en vez de desaparecer. Es la crítica clásica y legítima a toda solución de conducción, y debe responderse con el estudio del tramo de descarga, no ignorarse.

Límite o riesgo	Por qué
Efecto de falsa seguridad	Fenómeno documentado en la literatura de gestión del riesgo: el suelo protegido por una obra atrae desarrollo, la exposición aumenta y el <i>riesgo residual</i> —el del episodio que supera el diseño— acaba siendo mayor que antes de construirla. Se conjura de una sola manera: no emplear la obra como argumento para reclasificar suelo .
No modifica por sí sola la zonificación oficial	La cartografía del SNCZI no cambia porque se ejecute una obra: requiere revisión formal del organismo de cuenca. Hasta entonces, la situación urbanística y registral de las parcelas permanece.
Depende del mantenimiento	Un barranco mediterráneo arrastra sedimento, cañas y residuos. Las balsas de laminación pierden capacidad en silencio si no se limpian, y una obra colmatada no lamina nada el día que hace falta. Con tres administraciones implicadas, el programa de mantenimiento y su financiación son tan determinantes como la obra .
Episodios encadenados: la balsa llena	Una balsa de laminación sólo lamina si tiene sitio . El otoño mediterráneo no trae una dana aislada sino secuencias de varios días, y si el vaso no ha vaciado antes de la punta siguiente su capacidad efectiva es cero: la segunda avenida se comporta como si la obra no existiera. Peor aún si el desbordamiento no está previsto como tal, porque una lámina que rebosa de forma súbita entrega aguas abajo una onda concentrada que puede resultar más dañina que la ausencia de balsa . Lo que lo conjura es de proyecto: tiempo de vaciado por gravedad compatible con la separación entre puntas, y aliviadero de labio fijo que haga el rebose progresivo y dirigido en lugar de repentino.
La balsa vacía: vertedero y vector sanitario	Un vaso seco durante meses en entorno urbano acumula residuos, escombros y vegetación, y esa acumulación resta capacidad justo antes de necesitarla. Si en cambio conserva lámina permanente, en el clima alicantino aparece el mosquito tigre y, con poca renovación, eutrofización y olores. Ninguna de las dos cosas es inevitable, pero ambas exigen lo mismo: rejas de desbaste en la entrada, limpieza tras cada episodio y un programa de conservación con financiación nominada . Sin eso, una obra de trece millones se degrada en silencio y nadie lo advierte hasta el día que falla.
Un parque público que es a la vez vaso de inundación	Sesenta mil metros cuadrados de espacio verde son un acierto urbano y una responsabilidad nueva: el día del episodio, el parque se llena de agua con gente dentro . Exige protocolo de cierre anticipado, señalización del nivel máximo alcanzable y vías de salida claras. Es, precisamente, el tipo de decisión que esta plataforma puede anticipar: el aviso de AEMET y la previsión del episodio permiten ordenar el desalojo <i>antes</i> de que el vaso empiece a llenarse.
Dieciocho meses de ejecución	El plazo desde la adjudicación atraviesa al menos un otoño, que es la estación de las danas. Durante la obra el cauce queda intervenido y la vulnerabilidad temporal debe planificarse.

LAS DOS CONDICIONES EN QUE LA OBRA PUEDE JUGAR EN CONTRA

Merecen enunciarse juntas porque son las dos caras del mismo parámetro —el nivel de la balsa— y porque ninguna de las dos aparece en una memoria de proyecto redactada sólo para el episodio de diseño:

Llena. Capacidad efectiva nula ante la punta siguiente, y riesgo de rebose no controlado. La medida es el *tiempo de vaciado*: una balsa que tarda más en desaguar que lo que tardan en sucederse dos puntas no lamina la segunda. Debe ser un dato explícito del proyecto y debe poder **consultarse en tiempo real**, porque de él depende que el CECOPI sepa si cuenta o no con la obra esa noche.

Vacía. Vaso urbano seco durante meses: residuos, escombros y vegetación restando capacidad, o lámina permanente con el mosquito y los olores que trae. La medida es el mantenimiento, y su punto débil es institucional más que técnico: con tres administraciones implicadas, **conviene que el convenio nombre quién limpia, con qué periodicidad y con cargo a qué partida**, antes de que la obra se entregue.

QUÉ PUEDE Y QUÉ NO PUEDE AFIRMAR ESTA PLATAFORMA SOBRE LA OBRA

El simulador **no dimensiona ni evalúa** la actuación. La representa como una capacidad de laminación finita que deja de actuar al colmatarse, no como un conducto que siga evacuando a su caudal de diseño durante todo el episodio. En consecuencia la comparativa «con obra y sin obra» es **conservadora por construcción**: infravalora el beneficio y no constituye una valoración de la actuación. Queda declarado en la Tabla 30.2 del Volumen V.

Evaluar el beneficio real exige modelar la conducción y hacerlo en el ámbito del barranco, no sobre el total municipal, donde una detracción de este orden queda por debajo de la resolución del modelo. Es trabajo previsto y no ejecutado.

LA FORMA SÓLIDA DE DEFENDER ESTA INVERSIÓN

No es «esta obra acaba con las inundaciones», porque el primer episodio que la supere desmentirá la frase y con ella todo lo demás. Es: **esta obra retira de las calles el caudal de los episodios que ocurren cada pocos años, lamina la punta de los mayores, devuelve sesenta mil metros cuadrados de espacio público y deja de verter a la costa las primeras aguas del barranco; y para lo que la supere, el municipio dispone de un simulador que dice a quién hay que avisar y por dónde evacuar.** Obra y previsión son complementarias, no alternativas.

Capacidades comunes: asistente, avisos y comunicación

Un tercer grupo de funciones no pertenece a ninguno de los dos motores físicos: sirve a ambos y cubre la comunicación con el mando, con el personal y con la población.

Tabla 45.1 — Capacidades comunes a los dos módulos.

Capacidad	Descripción
Asistente conversacional	Inteligencia artificial integrada, especializada en incendios forestales e inundaciones, que responde a vecinos y a mando en castellano y en valenciano conociendo el estado de la simulación en curso. Incluye lectura en voz alta para quien no pueda leer la pantalla, lo que además es la alternativa accesible que exige el apartado 37.2.
Chat vecinal	Canal ciudadano en tiempo real, sin registro y con alias anónimo. Los avisos de mando, policía y protección civil se distinguen por color. Sujeto a la política de conservación del apartado 37.1.
Alertador CECOPI	Doce órdenes operativas preparadas: corte eléctrico, centros escolares, residencia de mayores, centros sanitarios, complejo agroindustrial, carril de emergencia libre, depósitos de gas, decálogo de supervivencia y evacuación de vivienda, entre otras. Evita redactar bajo presión el mensaje que más se lee.
Preparación de aviso masivo	Redacción del mensaje de aviso a población conforme al formato de difusión celular, con delimitación de la zona afectada. Es preparación y ensayo, no emisión: véase la advertencia del apartado 35.3.
Directorio de emergencia	Teléfono único de emergencias 112 (gratuito 24 h) y el 092 y el directorio completo de centros sanitarios, colegios y administraciones.
Persistencia del escenario	Guardado del escenario simulado con sus parámetros e infraestructuras afectadas, para su consulta posterior. Es lo que permite acreditar qué análisis se hizo y con qué datos, relevante a efectos del capítulo 37.
Reproductor temporal	Control de la escala de tiempo modificable durante la reproducción, verificado con precisión del 100 % en el módulo hidráulico. Permite reproducir un episodio de veinticuatro horas en segundos para el análisis posterior.
Cartografía conmutable	Ortofoto de alta definición, base táctica oscura o mapa topográfico con pendientes, más las capas superponibles del Anexo E.3.
Modo presentación	Oculta toda la interfaz dejando sólo la cartografía, para proyección ante plenario o medios. Verificado en el capítulo 29.

DOS PRECISIONES OBLIGADAS SOBRE ESTE CAPÍTULO

Primera: el **asistente conversacional** emplea un **servicio externo** para procesar las consultas. Debe informarse de ello en la política de privacidad, conforme al apartado 37.1, y es el único componente de la plataforma con coste variable por uso.

Segunda, y más importante: ni el alertador ni la función de aviso masivo **emiten nada**. Preparan el texto y delimitan la zona; la emisión corresponde a la autoridad competente. Presentarlo de otro modo ante la Administración comprometería la credibilidad del conjunto del sistema.

Consulta de parcela: «no compre antes de simular»

De todas las funciones de la plataforma, ésta es la única que no se dirige al mando sino directamente al vecino. Y es también la que exige más contención, porque quien consulta si una parcela es inundable antes de comprarla está tomando una decisión patrimonial.

46.1 · Origen de la función

Una vez resuelta una simulación, la vista deja ver tanto las zonas anegadas como las que permanecen secas. La urbanización GIALMA, por ejemplo, se asienta sobre la loma del Calvari, cuya coronación alcanza los 94 m: once metros por encima del punto más alto del casco urbano y unos veintiocho sobre su cota mediana, según las mediciones verificadas de la Tabla 1.2. De ahí nace un uso de la plataforma que excede la emergencia y llega al ciudadano.

46.2 · Qué se consulta y de dónde sale cada dato

Tabla 46.1 — Contenido del informe de parcela y procedencia de cada dato.

Lo que se consulta	De dónde sale el dato
Situación en zona inundable oficial	Consulta en vivo al Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables del Ministerio para la Transición Ecológica, en los tres periodos de retorno publicados: 10, 100 y 500 años.
Calado alcanzado en la simulación	Lámina máxima que el motor hidráulico calcula en esa celda para el episodio elegido, con las salvedades de resolución del capítulo 30.
Posición topográfica	Cota del terreno y desnivel respecto del punto más bajo en 500 m a la redonda, del modelo digital de elevaciones del Instituto Geográfico Nacional.
Plano de situación	Ortofoto oficial del PNOA con la mancha inundable superpuesta y el punto señalado, compuesta en servidor conforme al capítulo 21.

46.3 · Cómo decide la aplicación qué zonas marca en verde

Una zona favorable no es «terreno alto» sin más: es la **coronación de un alto**. La distinción importa, porque en Mutxamel casi todo es ladera y marcar la ladera entera no informa de nada. Se exigen por tanto tres condiciones a la vez, y las tres se comprueban celda a celda.

Tabla 46.2 — Las tres condiciones de zona favorable y su razón de ser.

Condición	Valor	Por qué
Permanece seca	calado < 5 cm	Para transitar a pie diez centímetros son admisibles; para decidir una compra, no. Un garaje se anega mucho antes que la calle.
Se levanta sobre su vaguada	≥ 10 m en 400 m	Descarta el montículo insignificante en terreno llano, que no protege de nada.
Domina su propio cerro	≤ 15 m bajo la cima en 800 m	Es la condición decisiva: retiene la coronación y descarta la ladera. Sin ella, la marca se extendía por dos tercios del término municipal.

Las tres son **locales**: cada punto se compara con su propio entorno, nunca con el resto del municipio. Por eso el criterio funciona igual en el llano que junto a la sierra, y por eso un alto urbanizado junto al casco urbano puede marcarse aunque el Cabeçó d'Or lo supere en cien metros de altura. La Tabla 20.4 documenta los tres criterios más simples que se ensayaron y se descartaron.

Sobre el resultado se aplican un **cierre y una apertura morfológicos**, que tapan los agujeros de una sola celda y borran las motas sueltas para que el perímetro sea legible. Una celda añadida por ese suavizado sólo se admite si queda encerrada por completo: **lo que se dibuja dentro de la línea verde cumple de verdad las tres condiciones**, y así se ha certificado con cero falsos positivos (capítulo 27).

46.4 · El veredicto de la parcela: verde o rojo, sin grises

Sobre el terreno, el punto consultado se marca con **dos colores y sólo dos**. La decisión de comprar o no comprar es binaria, y un semáforo de cuatro tonos invita a interpretar: en esa interpretación es donde alguien concluye que un ámbra «no era para tanto». La graduación existe, pero vive dentro del informe, que es donde un técnico necesita saber si el problema son siete centímetros o metro y medio con corriente.

Tabla 46.3 — Condiciones del veredicto favorable. Las tres han de cumplirse a la vez.

Condición	Umbral	Procedencia
Fuera de la zona inundable oficial	T10, T100 y T500	Cartografía del SNCZI consultada in vivo. Basta con estar dentro de uno solo de los tres periodos para que el veredicto deje de ser favorable.
Sin lámina apreciable	calado < 5 cm	El mismo umbral con el que se delimitan las zonas favorables sobre el mapa (Tabla 46.2): para transitar a pie diez centímetros son admisibles, para decidir una compra no, porque un garaje se anega mucho antes que el viario.
Sin peligrosidad para las personas	$h \cdot v < 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$	Umbral de riesgo grave del Reglamento del Dominio Público Hidráulico. Es el mismo con el que se perimetran las zonas críticas, de modo que un punto dentro de un perímetro rojo no puede salir favorable .
Contrastado contra un episodio	obligatorio	Sin una tormenta resuelta sólo se sabe lo que dice el mapa oficial. Un favorable obtenido así sería indistinguible de otro obtenido bajo una DANA de 770 mm, y no valen lo mismo.

Cualquier incumplimiento devuelve rojo, y también lo devuelven los dos casos en que la plataforma no puede afirmar nada: que la cartografía oficial no responda, y que no se haya resuelto ningún episodio. Es la aplicación al informe de parcela del criterio general del apartado 21.3: no se declara favorable lo que no se ha podido comprobar.

Tabla 46.4 — Graduación que acompaña al veredicto dentro del informe. No altera el color del punto sobre el mapa.

Tramo	Criterio	Lectura operativa
Grave riesgo	$h \geq 50 \text{ cm}$ o $h \cdot v \geq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$	El agua entra en vivienda y la corriente arrastra a una persona.
Afección alta	30 – 50 cm	Garajes y bajos anegados; circulación imposible.
Afección apreciable	5 – 30 cm	Lámina que alcanza portales y sótanos.
Sin lámina apreciable	< 5 cm	Único tramo compatible con un veredicto favorable.

POR QUÉ EL VEREDICTO Y EL PERÍMETRO ROJO NO PUEDEN DISCREPAR

Ambos se calculan con **las mismas dos magnitudes y los mismos dos umbrales**, leídas de la misma malla: el calado máximo y la peligrosidad máxima que el episodio alcanza en esa celda. Durante la revisión del 3 de agosto de 2026 se detectó que el veredicto sólo consultaba el calado y no la peligrosidad, de modo que un punto dentro de un perímetro rojo trazado por corriente rápida sobre lámina baja podía presentarse en verde. Quedó corregido: **hoy los dos criterios son idénticos por construcción**.

46.5 · Qué NO significa una línea verde

ALCANCE EXACTO DE LA MARCA

Que la parcela quede en alto y seca en el episodio simulado, nada más. No prejuzga la calificación urbanística del suelo, ni la existencia de licencia, ni el estado registral de la finca. Es frecuente además que sólo se marque parte de una urbanización: la mitad situada en la coronación entra y la que baja por la ladera no, porque la ladera se anega antes. Esa asimetría es un dato del relieve, no un defecto del dibujo.

46.6 · El caso que la cartografía oficial no detecta

Cuando una parcela queda fuera de toda zona inundable oficial pero la simulación la anega igualmente, la consulta lo advierte de forma expresa. Es precisamente la situación del agua pluvial acumulada, que la cartografía fluvial del Estado no recoge porque no procede del cauce.

Ese aviso es el valor añadido que ninguna consulta oficial ofrece hoy, y conviene entenderlo bien: no contradice a la cartografía oficial —que delimita inundación de origen fluvial— sino que informa de un fenómeno distinto que aquella no cubre por definición.

46.7 · Límite deliberado de esta herramienta

CONTENCIÓN INTENCIONADA

El informe de parcela se emite como estudio técnico privado orientativo, firmado por INTELLIGENTIA y no por el Ayuntamiento, y declara en su propia cabecera que carece de valor certificante. Remite al visor oficial del SNCZI y a la Confederación Hidrográfica del Júcar para cualquier escritura, hipoteca o licencia. Esa contención es intencionada: protege al comprador y protege al Ayuntamiento de que un documento municipal acabe empleándose como certificado urbanístico.

46.8 · Modo de demostración guiada

La plataforma incorpora un recorrido de veinte escenas que la conduce sola: la herramienta y sus capas oficiales, un caso completo de inundación, un caso completo de incendio, y el cierre con los informes y el asistente. Está pensado para exponer ante una corporación o un tribunal sin depender de acertar un clic en directo.

Tabla 46.5 — Los dos ritmos disponibles y para qué sirve cada uno.

Modo	Comportamiento	Cuándo conviene
A	Cada escena se prepara sola y espera. Avanza el ponente con la barra espaciadora.	Exposición con público que pregunta: nunca adelanta al que habla.
B	Avanza sola, con una pausa de lectura proporcional al texto. La barra espaciadora pausa y reanuda.	Proyección continua o sala de espera, sin nadie a los mandos.

Tres decisiones de diseño lo hacen fiable ante público, y las tres nacen de fallos medidos durante su construcción:

- **No avanza por reloj.** Cada escena espera a un estado real —que la malla del terreno esté cargada, que el episodio esté resuelto, que el incendio haya dejado de reproducirse—. Un guion con tiempos fijos se desincroniza en cuanto la red va lenta y se acaba narrando algo que todavía no está en pantalla.

- **Ninguna espera detiene la demostración.** Si un estado no llega dentro de su plazo, la escena se muestra igual: enseñar algo incompleto es preferible a quedarse en blanco.
- **Los informes se muestran dentro de la página.** Cada informe lleva una orden de impresión que, en una presentación, abre el diálogo del navegador sobre todo lo demás y bloquea la aplicación hasta cerrarlo a mano. Durante la demostración se presentan en un marco de la propia página; fuera de ella se imprimen como siempre.

EL ESCENARIO EMPIEZA SIEMPRE LIMPIO

Pulsar **INCENDIOS**, **INUNDACIONES**, **Full Demo** o cualquiera de los escenarios preparados **vacía el escenario anterior**: focos, personas, frente, cicatriz, humo, cortafuegos, recursos, rutas, lámina de agua y episodio hidráulico. No se recarga la página —eso obligaría a volver a descargar el modelo del terreno y los usos del suelo cada vez— sino que se vacía el escenario y se conserva el territorio. Sin esta limpieza, al conmutar de módulo y regresar reaparecían los datos del episodio previo mezclados con el nuevo, que en una presentación se lee como un fallo y en una emergencia sería peor.

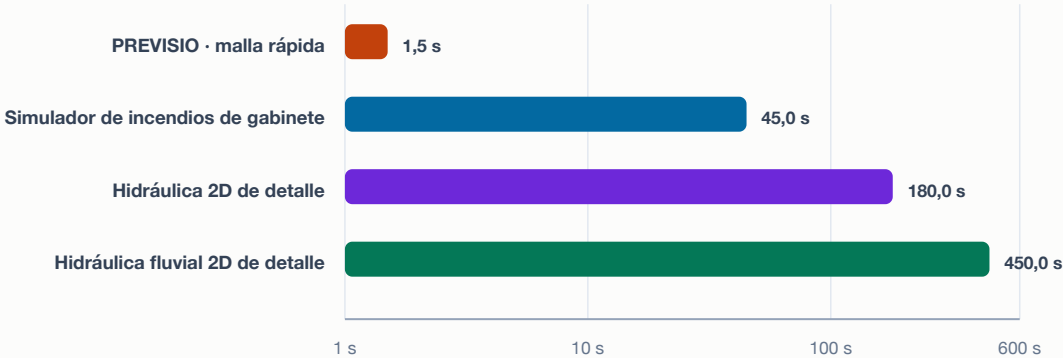
47.1 · Tiempo hasta el primer resultado

QUÉ MIDE EXACTAMENTE ESTA COMPARACIÓN

Las cifras siguientes **no miden lo mismo en todos los casos**, y presentarlas sin esa advertencia sería engañoso. En esta plataforma se mide el tiempo hasta que aparece un resultado utilizable sobre el territorio con la malla rápida; en las herramientas de gabinete se mide una ejecución completa de un caso ya preparado, con mallado propio y un nivel de detalle superior. **No es una comparación de exactitud: es una comparación de tiempo de respuesta**, que es la dimensión en la que esta plataforma se propone aportar algo, según explica el capítulo 5.

Tiempo hasta obtener un resultado sobre el territorio

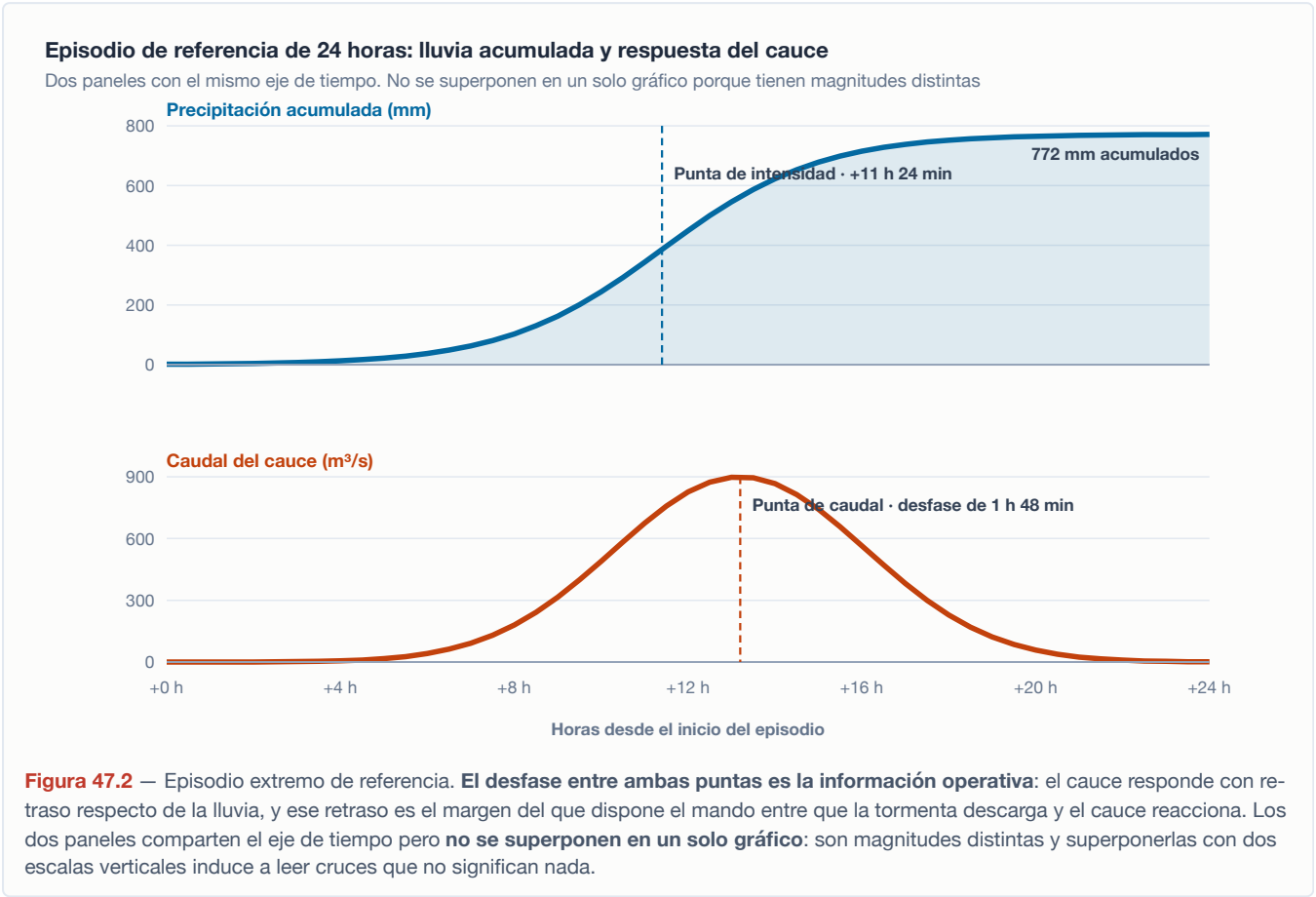
Segundos · escala logarítmica · véase la advertencia sobre qué mide cada barra



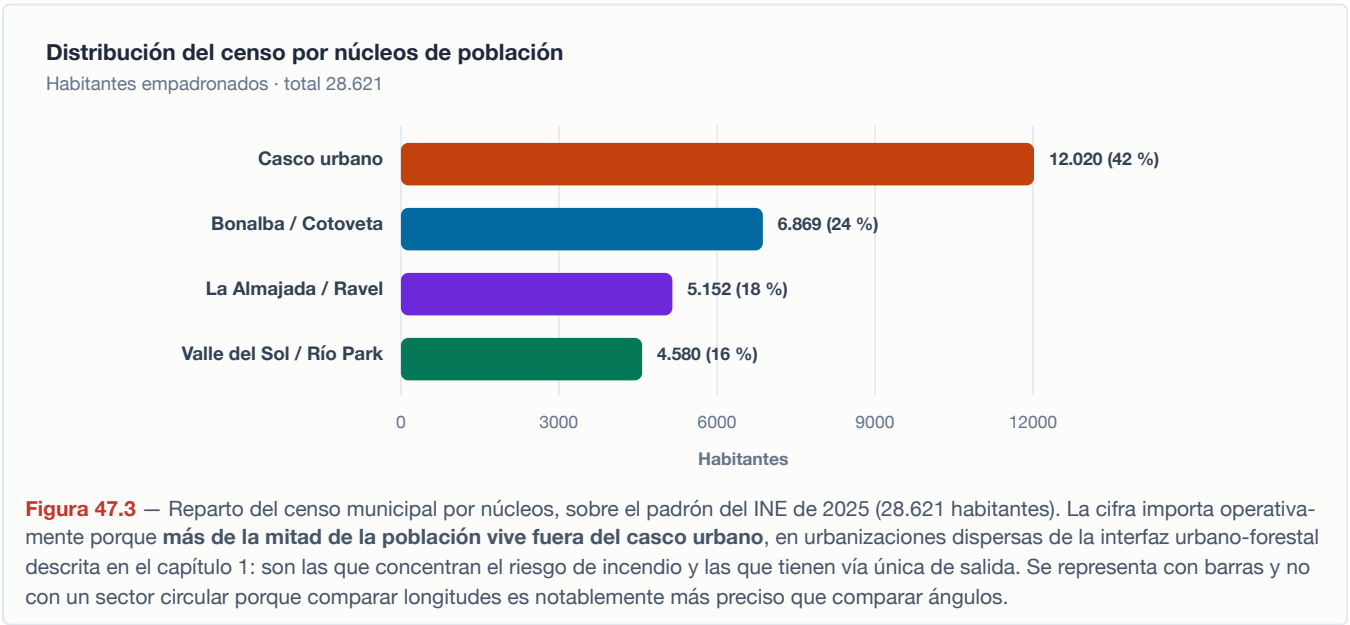
La escala es logarítmica: cada división multiplica por diez. La diferencia real es de dos órdenes de magnitud.

Figura 47.1 — Tiempo de respuesta comparado. La ventaja no procede de un algoritmo mejor sino de una decisión de diseño distinta: resolver con una malla gruesa y un esquema de onda difusiva sobre un dominio ya preparado, en lugar de mallar y resolver aguas someras completas. Se gana tiempo y se pierde detalle, y el capítulo 30 declara exactamente cuánto detalle se pierde.

47.2 · Episodio de referencia: lluvia acumulada y respuesta del cauce



47.3 · Censo por núcleos de población



ALCANCE DE ESTA CIFRA

El reparto por núcleos es la base del censo estimado que emplean los informes 3 y 7. Como advierte el capítulo 28, se trata de una **estimación estadística por zona**: sirve para dimensionar un albergue o un dispositivo, no para localizar personas.

Hoja de ruta estratégica 2026 – 2030

Previsio no es una aplicación cerrada: su arquitectura modular, descrita en el capítulo 24, permite incorporar progresivamente nuevos riesgos e infraestructuras sin rediseñar el núcleo. Este capítulo expone la evolución prevista.

CÓMO DEBE LEERSE ESTA HOJA DE RUTA

Lo consignado para 2026 y 2027 **está implementado y es demostrable hoy**. Lo consignado a partir de 2028 es **previsión de desarrollo, no capacidad existente**, y así debe presentarse ante cualquier administración. Mezclar ambas cosas en una demostración es el error que más rápidamente destruye la credibilidad de un proyecto técnico.

Tabla 48.1 — Evolución planificada de la plataforma.

Año	Estado	Módulo o tecnología	Capacidades e impacto municipal
2026	Operativo	Motor de incendios e interfaz	Simulación física de Rothermel, asimilación satelital, rutas adaptativas de evacuación y preparación de avisos. Volúmenes II y VIII.
2027	Operativo	Inundaciones pluviales 2D	Hidráulica bidimensional, telemetría del cauce, comparador de obras de drenaje y censo de anegamientos. Volumen III.
2027–28	Prioridad inmediata	Consolidación técnica	Las siete mejoras de la Tabla 30.4, encabezadas por la capa cartográfica de modelos de combustible y por la validación de huella contra imagen de radar. Son la condición previa del itinerario del Volumen VI.
2028	Previsto	Sensorización del término	Red de sensores de humedad de combustible y estación meteorológica propia, que atacan directamente las dos variables dominantes del análisis de sensibilidad del capítulo 13. Integración con inspección aérea no tripulada.
2029	Previsto	Nuevos riesgos	Dispersión de plumas de contaminante y evaluación de impacto sísmico sobre estructuras y red eléctrica. Requiere modelos físicos nuevos, no reutilizables de los actuales.
2030	Visión	Simulador digital profesional de escala municipal	Integración con la plataforma de ciudad inteligente, movilidad en tiempo real y gestión predictiva del conjunto de los riesgos del término.

48.1 • El orden correcto de las prioridades

Existe una tentación previsible: avanzar hacia los módulos nuevos —riesgo químico, sísmico, simulador digital profesional— porque resultan más vistosos que consolidar los existentes. Sería un error de secuencia, y conviene dejarlo escrito.

RECOMENDACIÓN DEL EQUIPO REDACTOR

Ningún módulo nuevo debe abordarse antes de completar las mejoras 1 y 2 de la Tabla 30.4 —capa cartográfica de combustible y validación de huella— y de haber recorrido, al menos, la fase 2 del itinerario de homologación. Una plataforma con dos módulos validados y reconocidos institucionalmente vale mucho más, ante una administración, que una con seis módulos sin validar. La ampliación de alcance es el camino más rápido para que un evaluador concluya que el sistema es amplio y superficial.

ANEXOS

Anexos

Nomenclatura, tablas completas de coeficientes, bibliografía científica, marco normativo consolidado e inventario íntegro de los controles de la aplicación.

-
- Anexo A.** Nomenclatura, símbolos y unidades
Anexo B. Tablas completas de coeficientes y parámetros
Anexo C. Bibliografía científica
Anexo D. Marco normativo y legislativo consolidado
Anexo E. Inventario completo de controles de la aplicación

ANEXO A

Nomenclatura, símbolos y unidades

A.1 · Símbolos del módulo de incendios

Tabla A.1 — Símbolos empleados en el Volumen II.

Símbolo	Magnitud	Unidad	Aparece en
R	Velocidad de propagación del frente	m/min	(7.1)
I_R	Intensidad de reacción	Btu·pie ⁻² ·min ⁻¹	(7.1), (7.3)
I_B	Intensidad lineal del frente (Byram)	kW/m	(10.1)
I_0	Umbral de iniciación de fuego de copas	kW/m	(10.3)
L_f	Longitud de llama	m	(10.2)
ξ	Cociente de flujo de propagación	adimensional	(7.6)
φ_v	Factor de viento	adimensional	(7.7)
φ_p	Factor de pendiente	adimensional	(7.8)
ρ_b	Densidad aparente del lecho	lb·pie ⁻³	(7.2)
ρ_p	Densidad de la partícula (32)	lb·pie ⁻³	(7.2)
β	Razón de empaquetamiento	adimensional	(7.2)
β_{op}	Razón de empaquetamiento óptima	adimensional	(7.2)
σ	Relación superficie/volumen de la partícula	pie ⁻¹ (interno) · m ⁻¹ (declarado)	(7.2), (7.4), (7.6), (7.7)
I''	Velocidad de reacción óptima	min ⁻¹	(7.4)
w_0	Carga de combustible muerto fino	kg/m ²	(7.2), Tabla 8.2
w_n	Carga neta, descontado el contenido mineral	lb/pie ²	(7.3)
δ	Espesor del lecho de combustible	m	(7.2), (7.10)
M_f	Humedad del combustible	fracción	(7.5)
M_x	Humedad de extinción	fracción	(7.5)
$M_{x,vivo}$	Humedad de extinción del combustible vivo	fracción	(9.3)
η_M	Coficiente de amortiguación por humedad	adimensional	(7.5)
η_S	Coficiente de amortiguación mineral (0,4173)	adimensional	(7.3)
S_T	Contenido mineral total (0,0555)	fracción	(7.3)
h	Poder calorífico del combustible (8.000)	Btu/lb	(7.3)
Q_{ig}	Calor de preignición	Btu/lb	(7.1)
ε	Número de calentamiento efectivo	adimensional	(7.1)
U	Viento a media llama	pie/min (interno)	(7.7), (7.9)

Símbolo	Magnitud	Unidad	Aparece en
WAF	Factor de ajuste del viento	adimensional	(7.10)
EMC	Humedad de equilibrio higroscópico	%	(9.1)
CBH	Altura de la base de copas	m	(10.3)
FMC	Humedad foliar del combustible vivo	%	(10.3)
L/B	Relación entre ejes de la elipse	adimensional	(11.1)
H/B	Relación entre avance de cabeza y de cola	adimensional	(11.2)

A.2 · Símbolos del módulo hidráulico

Tabla A.2 — Símbolos empleados en el Volumen III.

Símbolo	Magnitud	Unidad	Aparece en
P	Precipitación acumulada	mm	(16.1)
P_e	Escorrentía acumulada · lluvia neta	mm	(16.1)
P_0	Umbral de escorrentía	mm	(16.1)
$p(m)$	Lluvia del minuto m	mm	(15.1)
D	Duración del episodio	min	(15.1)
h	Calado de agua sobre el terreno	m	(17.1)
h_f	Calado efectivo de paso entre celdas	m	(17.2)
z	Cota del terreno	m	(17.1)
q	Caudal a través de una cara de celda	m ³ /s	(17.1)
Q	Caudal del cauce	m ³ /s	(19.1), (19.2)
n	Coefficiente de rugosidad de Manning	s·m ^{-1/3}	(17.1)
S	Pendiente de la lámina de agua	adimensional	(17.1)
v	Velocidad de la lámina	m/s	Cap. 20
Δt	Paso de integración	s	(18.1)
Δx	Lado de celda	m	(18.1)
α	Número de Courant (0,7)	adimensional	(18.1)
g	Aceleración de la gravedad (9,81)	m/s ²	(18.1), (19.2)
C_d	Coefficiente de descarga del orificio	adimensional	(19.2)
T	Periodo de retorno	años	(14.1)

A.3 · Factores de conversión empleados

Tabla A.3 — Factores de conversión exactos utilizados por el motor.

De	A	Factor
pie	metro	0,3048
kg·m ⁻²	lb·pie ⁻²	0,204816
m·s ⁻¹	pie·min ⁻¹	196,850
Btu·pie ⁻² ·min ⁻¹	kW·m ⁻²	3,4613
nudo	m·s ⁻¹	0,514444
tonelada/acre	kg·m ⁻²	0,2242
m ⁻¹	pie ⁻¹	÷ 3,28084
litro/m ²	mm de lámina	1,0 (equivalencia exacta)

A.4 · Glosario

Tabla A.4 — Términos técnicos empleados en el documento.

Término	Definición
ARPSI	Área de Riesgo Potencial Significativo de Inundación. Delimitación oficial establecida por el organismo de cuenca.
CECOPI	Centro de Coordinación Operativa Integrado. Órgano de dirección de una emergencia.
DANA	Depresión aislada en niveles altos. Fenómeno meteorológico responsable de los episodios de lluvia torrencial en el litoral mediterráneo.
Hietograma	Distribución temporal de la intensidad de lluvia a lo largo de un episodio.
Hidrograma	Evolución del caudal de un cauce a lo largo del tiempo.
INSPIRE	Directiva europea de infraestructura de información espacial. Define los servicios normalizados de datos geográficos públicos.
Interfaz urbano-forestal	Zona de contacto entre edificación y vegetación forestal. Concentra la mayor parte de las víctimas por incendio.
Onda difusiva	Simplificación de las ecuaciones de aguas someras que conserva presión y fricción y desprecia la inercia.
PATRICOVA	Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana.
Periodo de retorno	Inverso de la probabilidad anual de que un suceso se produzca o se supere.
PNOA	Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Fuente de la imagen aérea y del modelo digital del terreno.
SAIH	Sistema Automático de Información Hidrológica del organismo de cuenca.
SNCZI	Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.
Solana / umbría	Ladera orientada al sur, de máxima insolación, frente a la orientada al norte.
Vía de flujo preferente	Zona por la que circula preferentemente el agua en avenida, definida en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.

Tablas completas de coeficientes

B.1 · Constantes del modelo de Rothermel

Tabla B.1 — Constantes universales del modelo, con su valor implementado.

Constante	Valor	Función
Densidad de la partícula ρ_p	32,0 lb/pie ³	Referencia para la razón de empaquetamiento
Poder calorífico h	8.000 Btu/lb	Energía liberada por unidad de masa
Contenido mineral total S_T	0,0555	Fracción no combustible
Amortiguación mineral η_S	0,4173	Reducción de la reacción por contenido mineral
Coefficiente de β_{op}	3,348	Ecuación (7.2)
Exponente de β_{op}	−0,8189	Ecuación (7.2)
Coefficiente de A	133,0	Ecuación (7.4)
Exponente de A	−0,7913	Ecuación (7.4)
Constantes de $I'_{m\acute{a}x}$	495 · 0,0594	Ecuación (7.4)
Constantes de ξ	0,792 · 0,681 · 192 · 0,2595	Ecuación (7.6)
Constantes de C, B, E	7,47 · 0,133 · 0,02526 · 0,54 · 0,715 · 0,000359	Ecuación (7.7)
Coefficiente de pendiente	5,275	Ecuación (7.8)
Exponente de pendiente	−0,3	Ecuación (7.8)
Calor de preignición · término fijo	250	$Q_{ig} = 250 + 1116 \cdot M$
Calor de preignición · término húmedo	1.116	Ídem
Tiempo de residencia	384/ σ min	Duración de la llama sobre un punto
Límite de viento efectivo	0,9 · I_R	Ecuación (7.9)

B.2 · Modelos de combustible en unidades originales y del sistema internacional

Tabla B.2 — Modelos de combustible, con doble juego de unidades.

Modelo	w_0 (t/acre)	w_0 (kg/m ²)	$w_{0,vivo}$ (kg/m ²)	δ (m)	σ (m ^{−1})	σ (pie ^{−1})	M_x	CBH (m)
M6	1,50	0,3363	0,3363	0,762	5.741	1.750	0,25	4,0
M5	1,00	0,2242	0,4484	0,610	6.562	2.000	0,20	6,0
M1	0,74	0,1659	—	0,305	11.483	3.500	0,12	9,0
AGR	0,30	0,0673	0,1345	0,250	9.000	2.743	0,15	12,0

B.3 · Términos derivados por modelo de combustible

Tabla B.3 — Términos que sólo dependen de la geometría del lecho, calculados con la implementación.

Modelo	ρ_b	β	β_{op}	β/β_{op}	ξ	ε	WAF	Residencia
M6	0,055	0,0017	0,0074	0,233	0,0304	0,9242	0,382	0,219 min
M5	0,069	0,0022	0,0066	0,324	0,0342	0,9333	0,364	0,192 min
M1	0,034	0,0011	0,0042	0,253	0,0577	0,9613	0,315	0,110 min
AGR	0,050	0,0016	0,0051	0,308	0,0449	0,9509	0,303	0,140 min

B.4 · Parámetros hidrológicos e hidráulicos por uso del suelo

Tabla B.4 — Tabla completa, con la escorrentía resultante para varios episodios.

Uso del suelo	Código	P_0	n	P_e (60 mm)	P_e (100 mm)	P_e (180 mm)	P_e (300 mm)
Cauce y barranco	channel	8 mm	0,035	32,2	68,3	145,0	263,2
Urbano y viario	urban	5 mm	0,015	40,3	78,5	157,1	276,3
Huerta y cultivo	farm	25 mm	0,045	9,1	32,1	94,2	201,7
Pastizal y erial	grass	30 mm	0,060	6,0	25,8	83,3	186,9
Matorral	scrub	32 mm	0,070	5,0	23,6	79,4	181,4
Masa forestal	forest	40 mm	0,100	2,2	16,4	65,3	161,0
Lámina de agua	water	0 mm	0,030	60,0	100,0	180,0	300,0

B.5 · Velocidad de Manning por uso del suelo y calado

Tabla B.5 — Velocidad de la lámina en m/s, con pendiente de lámina del 2 %. Las celdas sombreadas superan el umbral de arrastre de una persona.

Uso del suelo	h = 0,05 m	h = 0,10 m	h = 0,20 m	h = 0,30 m	h = 0,50 m	h = 0,80 m	h = 1,20 m
Cauce y barranco	0,55	0,87	1,38	1,81	2,55	3,48	4,56
Urbano y viario	1,28	2,03	3,22	4,23	5,94	8,12	10,65
Huerta y cultivo	0,43	0,68	1,07	1,41	1,98	2,71	3,55
Pastizal y erial	0,32	0,51	0,81	1,06	1,48	2,03	2,66
Matorral	0,27	0,44	0,69	0,91	1,27	1,74	2,28
Masa forestal	0,19	0,30	0,48	0,63	0,89	1,22	1,60

La lectura de esta tabla resume el capítulo 20: en viario urbano, diez centímetros de agua con una pendiente ordinaria del 2 % ya circulan a más de dos metros por segundo. En matorral, hacen falta más de ochenta centímetros para alcanzar esa velocidad.

Bibliografía científica

COMPROMISO DE ESTA BIBLIOGRAFÍA

Cada referencia de este anexo se corresponde con código que existe y se ejecuta. No se citan obras por prestigio ni para engrosar el listado. Cuando un algoritmo se sustituye, su referencia se retira; el capítulo 26.3 documenta un caso concreto en que así se hizo.

C.1 · Comportamiento del fuego forestal

- Rothermel, R. C. (1972). *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. Research Paper INT-115. Ogden, Utah: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. — **Modelo de propagación superficial**. Núcleo del motor de incendios y base de BEHAVE, FARSITE y FlamMap. Capítulo 7.
- Albini, F. A. (1976). *Estimating wildfire behavior and effects*. General Technical Report INT-30. USDA Forest Service. — **Humedad de extinción del combustible vivo** y ajustes operativos del modelo. Ecuación (9.3).
- Albini, F. A. y Baughman, R. G. (1979). *Estimating windspeeds for predicting wildland fire behavior*. Research Paper INT-221. USDA Forest Service. — **Factor de ajuste del viento** de 10 m a la altura de llama. Ecuación (7.10).
- Byram, G. M. (1959). *Combustion of forest fuels*. En: Davis, K. P. (ed.), *Forest Fire: Control and Use*. Nueva York: McGraw-Hill, pp. 61–89. — **Intensidad lineal del frente y longitud de llama**. Ecuaciones (10.1) y (10.2).
- Van Wagner, C. E. (1977). Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(1), 23–34. — **Umbral de paso a fuego de copas**. Ecuación (10.3).
- Simard, A. J. (1968). *The moisture content of forest fuels: a review of the basic concepts*. Information Report FF-X-14. Ottawa: Forest Fire Research Institute. — **Humedad de equilibrio higroscópico**. Ecuación (9.1).
- Anderson, H. E. (1982). *Aids to determining fuel models for estimating fire behavior*. General Technical Report INT-122. USDA Forest Service. — **Modelos de combustible NFFL**. Tabla 8.2.
- Alexander, M. E. (1985). *Estimating the length-to-breadth ratio of elliptical forest fire patterns*. Proceedings of the Eighth Conference on Fire and Forest Meteorology, pp. 287–304. — **Geometría elíptica del perímetro**. Ecuaciones (11.1) y (11.2).
- Forestry Canada Fire Danger Group (1992). *Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System*. Information Report ST-X-3. Ottawa. — **Sistema FBP**. Marco de la geometría de propagación del capítulo 11.
- Haines, D. A. (1988). A lower atmosphere severity index for wildland fires. *National Weather Digest*, 13(2), 23–27. — **Índice de severidad atmosférica**. Telemetría del capítulo 6.
- Finney, M. A. (1998). *FARSITE: Fire Area Simulator — model development and evaluation*. Research Paper RMRS-RP-4. USDA Forest Service. — **Propagación por el principio de Huygens**. Fundamento del apartado 11.2 y referencia de comparación del capítulo 5.
- Andrews, P. L. (2014). Current status and future needs of the BehavePlus Fire Modeling System. *International Journal of Wildland Fire*, 23(1), 21–33. — Estado del sistema de referencia con el que se contrasta la implementación.
- Scott, J. H. y Burgan, R. E. (2005). *Standard fire behavior fuel models*. General Technical Report RMRS-GTR-153. USDA Forest Service. — Revisión de los modelos de combustible. Referencia para la mejora prioritaria del capítulo 30.
- Sullivan, A. L. (2009). Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. *International Journal of Wildland Fire*, 18(4). Serie de tres artículos. — **Revisión del estado del arte** y de los márgenes de error que se declaran en el capítulo 27.
- Cruz, M. G. y Alexander, M. E. (2013). Uncertainty associated with model predictions of surface and crown fire rates of spread. *Environmental Modelling & Software*, 47, 16–28. — **Origen del rango de error de 3,5 a 9,1 m/min** que se declara en los capítulos 27 y 28.
- Rothermel, R. C. (1991). *Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains*. Research Paper INT-438. USDA Forest Service. — Comportamiento en régimen de copas. Limitación declarada en la Tabla 30.1.
- Vélez Muñoz, R. (coord.) (2009). *La defensa contra incendios forestales: fundamentos y experiencias*. 2ª ed. Madrid: McGraw-Hill. — Referencia española de la práctica de defensa contra incendios. Marco de la Tabla 6.2.
- Rodríguez y Silva, F. y Molina Martínez, J. R. (2012). Modeling Mediterranean forest fuels by integrating field data and mapping tools. *European Journal of Forest Research*, 131, 571–582. — Adaptación de modelos de combustible a la vegetación mediterránea. Base de la mejora número 1 del capítulo 30.

C.2 · Hidrología e hidráulica

- Témez Peláez, J. R. (1991). Generalización y mejora del método racional. Versión de la Dirección General de Carreteras de España. *Ingeniería Civil*, 82, 51–56. — **Método del umbral de escorrentía**. Ecuación (16.1).
- Ministerio de Fomento (2016). *Instrucción de Carreteras, Norma 5.2-IC, Drenaje superficial*. Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero. BOE núm. 60. — **Norma técnica española de referencia**. Capítulos 15 y 16.
- Ministerio de Fomento (1999). *Máximas lluvias diarias en la España peninsular*. Dirección General de Carreteras. — Estadística de precipitaciones extremas. Fundamento del capítulo 15.
- Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. Nueva York: McGraw-Hill. — **Coefficientes de rugosidad de Manning**. Tablas 16.1 y B.4.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. y Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. Nueva York: McGraw-Hill. — Hietograma de bloques alternos y fundamentos de hidrología aplicada. Capítulo 15.
- Bates, P. D. y De Roo, A. P. J. (2000). A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology*, 236(1–2), 54–77. — **Esquema de celdas de almacenamiento sobre malla regular**. Capítulo 17.
- Bates, P. D., Horritt, M. S. y Fewtrell, T. J. (2010). A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling. *Journal of Hydrology*, 387(1–2), 33–45. — **Formulación inercial**. Referencia de la jerarquía de la Tabla 17.1 y vía de evolución del modelo.
- Planchon, O. y Darboux, F. (2002). A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. *Catena*, 46(2–3), 159–176. — **Relleno de depresiones del modelo digital del terreno**. Capítulo 17 y, de forma decisiva, capítulo 19.
- O'Callaghan, J. F. y Mark, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28(3), 323–344. — **Direcciones de flujo D8**. Capítulo 17.
- Courant, R., Friedrichs, K. y Lewy, H. (1928). Über die partiellen Differenzengleichungen der mathematischen Physik. *Mathematische Annalen*, 100, 32–74. — **Condición de estabilidad de los esquemas explícitos**. Ecuación (18.1).
- Manning, R. (1891). On the flow of water in open channels and pipes. *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland*, 20, 161–207. — **Ecuación de resistencia al flujo**. Ecuación (17.1).
- Soil Conservation Service (1972). *National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology*. USDA. — Método del número de curva, emparentado con la formulación de Témez.
- Cea, L., Bladé, E. et al. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1), 1–10. — Referencia española de modelización hidráulica bidimensional completa. Comparación del capítulo 5.
- Martínez-Gomariz, E., Gómez, M. y Russo, B. (2016). Experimental study of the stability of pedestrians exposed to urban pluvial flooding. *Natural Hazards*, 82, 1259–1278. — Estabilidad de peatones frente a lámina de agua en medio urbano. Fundamento experimental del capítulo 20.
- Russo, B., Gómez, M. y Macchione, F. (2013). Pedestrian hazard criteria for flooded urban areas. *Natural Hazards*, 69, 251–265. — Criterios de peligrosidad para viandantes. Capítulo 20.
- Olcina Cantos, J. (2004). Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en la escala local: el papel del planeamiento urbano municipal. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 37, 49–84. — Riesgo de inundación y planeamiento en el litoral alicantino. Marco del Volumen I.

C.3 · Tratamiento geoespacial y de imagen

- Rosenfeld, A. y Pfaltz, J. L. (1966). Sequential operations in digital picture processing. *Journal of the ACM*, 13(4), 471–494. — **Etiquetado de componentes conexas**. Identificación de las agrupaciones de celdas que forman cada envolvente. Capítulo 20.
- Serra, J. (1982). *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Londres: Academic Press. — **Cierre y apertura morfológicos**. Limpieza del contorno de las envolventes, sin la cual el perímetro exacto sale dentado. Capítulo 20.
- Sinnott, R. W. (1984). Virtues of the Haversine. *Sky and Telescope*, 68(2), 158. — **Fórmula del haversine**. Todas las distancias del motor. Ecuación (22.2).
- Snyder, J. P. (1987). *Map projections: a working manual*. USGS Professional Paper 1395. — Proyecciones cartográficas y sus deformaciones. Capítulo 22.
- Giglio, L., Schroeder, W. y Justice, C. Q. (2016). The Collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment*, 178, 31–41. — **Algoritmo de detección de focos térmicos**. Capítulo 23.

Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L. y Csiszar, I. A. (2014). The New VIIRS 375 m active fire detection data product. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85–96. — **Producto VIIRS de 375 m**, el que consume la plataforma. Capítulo 23.

C.4 · Nota sobre la selección bibliográfica

Se han excluido deliberadamente obras que, siendo relevantes en la disciplina, no tienen correspondencia con ninguna línea del código en producción. La bibliografía de un documento técnico no es una declaración de lecturas: es la trazabilidad de lo que el sistema ejecuta. Una referencia sin implementación es una afirmación no verificable, y este documento no contiene ninguna.

D.1 · Unión Europea

Tabla D.1 — Normativa europea.

Norma	Objeto
Directiva 2007/60/CE	Evaluación y gestión de los riesgos de inundación
Directiva 2007/2/CE (INSPIRE)	Infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea
Directiva 2000/60/CE	Marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas
Reglamento (UE) 2016/679	Protección de datos personales
Decisión 1313/2013/UE	Mecanismo de Protección Civil de la Unión

D.2 · Estado

Tabla D.2 — Normativa estatal.

Norma	Objeto
Ley 17/2015, de 9 de julio	Sistema Nacional de Protección Civil
Real Decreto 407/1992	Norma Básica de Protección Civil
Real Decreto 393/2007	Norma Básica de Autoprotección
Real Decreto 893/2013	Directriz Básica de Planificación de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales
Resolución de 31 de enero de 1995	Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones
Real Decreto Legislativo 1/2001	Texto Refundido de la Ley de Aguas
Real Decreto 849/1986	Reglamento del Dominio Público Hidráulico
Real Decreto 638/2016	Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico. Criterios de grave riesgo del capítulo 20
Real Decreto 903/2010	Evaluación y gestión de riesgos de inundación. Transposición de la Directiva 2007/60/CE
Ley 43/2003, modificada por la Ley 21/2015	Ley de Montes
Orden FOM/298/2016	Norma 5.2-IC de drenaje superficial. Base del capítulo 16
Ley 7/1985	Bases del Régimen Local. Competencia municipal en protección civil
Ley 39/2015 y Ley 40/2015	Procedimiento administrativo común y régimen jurídico del sector público
Ley 9/2017	Contratos del Sector Público. Capítulo 38
Ley Orgánica 3/2018	Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales
Real Decreto 311/2022	Esquema Nacional de Seguridad
Real Decreto 1112/2018	Accesibilidad de los sitios web del sector público. Apartado 37.2
Ley 14/2010 (LISIGE)	Infraestructuras y servicios de información geográfica en España
Ley 27/2006	Derechos de acceso a la información en materia de medio ambiente. Fundamento de las solicitudes de la Tabla 34.2
Real Decreto 1071/2007	Sistema geodésico de referencia oficial. Capítulo 22

Norma	Objeto
Real Decreto Legislativo 1/1996	Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual

D.3 · Comunitat Valenciana

Tabla D.3 — Normativa autonómica.

Norma	Objeto
Ley 13/2010	Protección Civil y Gestión de Emergencias de la Comunitat Valenciana
Decreto 201/2015	PATRICOVA · Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación
Ley 3/1993	Forestal de la Comunitat Valenciana
Decreto 98/1995	Reglamento de la Ley Forestal
PATFOR	Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana
Plan Especial frente al Riesgo de Incendios Forestales	Organización de la respuesta autonómica
Plan Especial ante el Riesgo de Inundaciones	Ídem para inundaciones
Ley 8/2010	Régimen Local de la Comunitat Valenciana
Ley 5/2014 y sus modificaciones	Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje

Inventario completo de controles

Todo lo que el operador puede modificar, con su recorrido real. Nada de lo que sigue es una estimación del documento: son los límites que impone la propia aplicación.

E.1 · Módulo de incendios forestales

Tabla E.1 — Controles del módulo de incendios.

Control	Recorrido	Qué gobierna físicamente
Velocidad del viento	0 – 60 nudos	Entra en Rothermel como viento a media llama tras el ajuste de Albin y Baughman, y fija el alargamiento de la elipse. Ecuaciones (7.7) y (11.1).
Dirección del viento	0 – 360°	Orienta el eje mayor de la elipse y, con ello, quién queda a sotavento y quién a barlovento.
Factor de racha	1,0 – 2,5 ×	Segunda pasada completa de Rothermel con el viento multiplicado; es la que decide el paso a fuego de copas. Tabla 10.1.
Temperatura del aire	–30 – 60 °C	Desplaza la humedad de equilibrio de Simard y con ella el secado del combustible fino muerto. Ecuación (9.1).
Humedad relativa	1 – 100 %	El otro término de la humedad de equilibrio.
Pendiente media	0 – 60 %	Factor de pendiente de Rothermel: el fuego acelera cuesta arriba porque precalienta el combustible que tiene delante. Ecuación (7.8).
Humedad del combustible muerto	2 – 25 %	Humedad de referencia, corregida después por el ambiente y por la orientación de la ladera. Ecuación (9.2).
Humedad del combustible vivo	40 – 140 %	Entra en la humedad de extinción viva de Albin y en el umbral de copas de Van Wagner. Ecuaciones (9.3) y (10.3).
Carga de fitomasa	5 – 50 t/ha	Escala la carga del modelo de combustible respecto de su referencia de 22 t/ha.
Viento cruzado	0 – 30 nudos	Deriva de la pluma de humo y visibilidad.
Orientación de la ladera	solana / umbría / poniente / llano	Corrige la humedad del combustible por la insolación recibida: la solana llega más seca. Tabla 9.1.
Ciclo solar	auto / día / atardecer / noche	Iluminación del visor con independencia de la hora real, para proyectar ante público.

E.2 · Módulo de inundaciones

Tabla E.2 — Controles del módulo hidráulico.

Control	Recorrido	Qué gobierna físicamente
Precipitación acumulada	0 – 2.000 l/m²	Lámina total del episodio. Un litro por metro cuadrado equivale exactamente a un milímetro.
Duración del episodio	20 min – 24 h	Reparte esa lámina en el tiempo. Los mismos milímetros en tres horas o en ocho no producen la misma riada.
Factor de punta	10 – 60 %	Concentración convectiva del hietograma: eleva la intensidad máxima sin tocar el total. Ecuación (15.1) y Tabla 15.1.

Control	Recorrido	Qué gobierna físicamente
Saturación previa del suelo	0 – 100 %	Umbral de escorrentía del método de Témez. Es el parámetro que más cambia el resultado. Ecuación (16.1).
Capacidad del alcantarillado	0 – 100 %	Red al completo o colapsada por arrastres, que es lo que ocurre de verdad en una DANA.
Caudal punta del cauce	0 – 1.200 m³/s	Avenida del Monnegre inyectada en su punto de entrada al término, deducido del propio terreno. Ecuación (19.1).
Duración de la avenida	30 min – 24 h	Forma del hidrograma de la crecida fluvial.
Volumen embalsado	hasta 3,69 hm³	Escenario de vaciado de la presa por ley de orificio. Ecuación (19.2). Debe emplearse el volumen real publicado por el SAIH, no la capacidad de proyecto (capítulo 19).
Resolución de malla	96 / 192 / 384 celdas	Precisión frente a velocidad. La malla rápida resuelve un episodio completo en segundo y medio; la fina afina el detalle de calle.
Modo de visualización	calado / velocidad / peligrosidad / drenaje	Cuatro lecturas del mismo cálculo. Una lámina quieta y una corriente del mismo calado no son lo mismo: capítulo 20.
Opacidad de la lámina	0 – 100 %	Permite ver el terreno bajo el agua al presentar.
Obra de drenaje	con obra / sin obra	Misma tormenta, mismo hietograma, misma saturación: la única diferencia entre ambas columnas es el colector. Es el argumento de inversión del informe 8.
Velocidad de reproducción	1 × – 3.600 ×	Desde tiempo real estricto hasta una hora simulada por segundo.

E.3 · Capas cartográficas superponibles

Sobre tres bases cartográficas conmutables —ortofoto satelital de alta definición, base táctica oscura y topográfico con pendientes— pueden activarse de forma independiente las capas siguientes:

Tabla E.3 — Capas disponibles.

Grupo	Capas
Incendio	Frente activo · cicatriz de tierra quemada · descargas de retardante · contrafuegos · cortafuegos · plumas de humo · isothermas · modelos de combustible · focos térmicos de la NASA
Inundación	Lámina de calados · velocidad · peligrosidad · red de drenaje · vados intransitables · trazado del colector proyectado · zonas inundables oficiales del SNCZI · peligrosidad y riesgo de PATRICOVA
Personas y recursos	Peatones · refugios · rutas de evacuación · recursos desplegados
Territorio e infraestructura	Máscara de enfoque municipal · red eléctrica de alta y media tensión · instalaciones críticas y de riesgo químico

CIERRE DEL DOCUMENTO

Este dossier ha desarrollado, en ocho volúmenes y cinco anexos, los fundamentos científicos, la formulación matemática, la arquitectura de datos, la validación, las limitaciones y el itinerario de reconocimiento institucional de la plataforma **Previsio**.

Cada ecuación reproducida se corresponde con código en ejecución. Cada figura de los Volúmenes II y III se ha generado ejecutando esas mismas ecuaciones durante la composición de este documento, no dibujándolas. Cada cifra de rendimiento está medida. Cada limitación conocida está declarada, y donde el modelo se aparta de la observación de campo, la desviación consta con su magnitud y su signo.

Ese es el criterio de trabajo: lo que se afirma, se demuestra.

PREVISIO® · Simulador Digital Profesional de Escala Municipal · Dossier Técnico (Libro Blanco v1.7)

PREVISIO v 1.0 · Creada por INTELLIGENTIA.dev

Arquitecto de Software del Proyecto: José Martínez

Plataforma libre y gratuita · Presentado a las administraciones con competencia en protección civil, aguas y montes