



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



¿SON ECOLÓGICOS LOS CAUDALES ECOLÓGICOS?

EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS

Trabajo de Fin de Grado

Universidad Politécnica de Madrid

ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural

Grado en Ingeniería del Medio Natural

Autor:

Víctor Bravo Frías

Director:

José Anastasio Fernández Yuste

Codirector:

Rafael Seiz Puyuelo

2024

Título:

¿SON ECOLÓGICOS LOS CAUDALES ECOLÓGICOS? EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS.

Autor:

Víctor Bravo Frías

Titulación:

Grado en Ingeniería del Medio Natural

Departamento:

Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental

Visto bueno del director:

José Anastasio Fernández Yuste

Visto bueno del codirector:

Rafael Seiz Puyuelo

Fdo.

Fdo.

SEPTIEMBRE 2024

HOJA DE CALIFICACIÓN

TÍTULO
AUTOR / AUTORA
TITULACIÓN

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Presidente	
	Fdo.
Secretario	
	Fdo.
Vocal	
	Fdo.

Reunido el Tribunal de calificación con fecha _____ ,

acuerda otorgar la CALIFICACIÓN GLOBAL de _____.

Se propone la concesión de Matrícula de Honor.

Informe explicativo de calificación

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a mis dos directores, José Anastasio Fernández Yuste y Rafael Seiz Puyuelo, por su dedicación y seguimiento. En particular, a José Anastasio Fernández Yuste, por ofrecerme este Trabajo Fin de Grado y por todas sus enseñanzas e indicaciones; y a Rafael Seiz Puyuelo, por promover el proyecto en el que se enmarca este trabajo, y por su implicación en mi formación durante las prácticas que realicé en WWF España. Además, quiero dar mi más sincero agradecimiento a mi profesora Carolina Martínez Santa-María, por toda su ayuda y colaboración, y por todo lo aprendido.

Quiero agradecer también a mi familia todo el apoyo y motivación que me han dado durante esta etapa. A mi hermana, por estar siempre conmigo. A mis padres por enseñarme tantos lugares y espacios naturales desde que era un niño. Y a mis abuelos, por cuidarme todos estos años y por darme tanto cariño.

Por otro lado, gracias a Selene, por ser mi compañera en este camino. También a todos los amigos que he conocido durante la carrera y con los que he compartido tanto, y a los que continúan siéndolo desde años atrás.

Título:

¿SON ECOLÓGICOS LOS CAUDALES ECOLÓGICOS? EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS.

Autor:

Víctor Bravo Frías

RESUMEN

En el Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas, la administración pública estableció en la Disposición final tercera de esta norma la obligación de actualizar la Instrucción de Planificación Hidrológica. En concreto, esta actualización debe fijar los nuevos “... *criterios técnicos y metodologías para la determinación de los caudales ecológicos para el conjunto de las demarcaciones hidrográficas, con las especificidades que se requieran, y los criterios y el procedimiento para establecer una zonificación de las masas de agua subterránea como medida de protección, a efectos del otorgamiento de autorizaciones y concesiones*”. En este contexto, este trabajo se centra en la evaluación y propuesta de mejora de los caudales ecológicos mínimos, la única de las cinco componentes del régimen de caudales ecológicos que aparece cuantificada en la normativa del Real Decreto 35/2023 para todas las masas de agua.

Los objetivos generales de este trabajo pueden resumirse en dos: i) Ofrecer un diagnóstico de la adecuación hidrológica del régimen de caudales ecológicos mínimos del tercer ciclo de planificación; ii) Desarrollar y aplicar una metodología para la valoración objetiva de la adecuación hidrológica de cualquier escenario de régimen de caudales ecológicos mínimos.

Se han caracterizado y evaluado los caudales ecológicos mínimos recogidos en la normativa vigente de 67 masas de agua superficial tipo río. Para ello, se han aplicado cinco fases: i) Comparación con los mínimos absolutos en régimen natural; ii) Evaluación de la alteración del régimen hidrológico; iii) Capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica; iv) Capacidad real para reducir la alteración hidrológica; v) Propuesta y evaluación de escenarios a partir de nuevas metodologías de génesis hidrológica.

Como resultados principales se obtiene que: i) 58 de los 67 escenarios de régimen de caudales ecológicos mínimos analizados (87%) tienen tres meses o más con caudales inferiores a los mínimos absolutos de la serie en régimen natural, y por lo tanto no son hidrológicamente asumibles; ii) 67 de las 67 masas de agua analizadas (100%) sufren algún tipo de alteración hidrológica; iii) En 60 de las 67 masas (90%) el régimen de caudales ecológicos mínimos no tiene capacidad potencial de reducir la alteración; iv) Los escenarios propuestos 1 y 2 tienen capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica en un 76% y un 69% de las masas de agua respectivamente.

Algunas de las propuestas que se plantean ante los resultados obtenidos son: i) Cualquier escenario de régimen de caudales ecológicos mínimos que se proponga debe cumplir que sus valores mensuales estén por encima del mínimo absoluto de la serie régimen natural; ii) El régimen de caudales ecológicos mínimos debe establecerse a escala mensual y, en congruencia, el régimen natural a utilizar para su estimación y/o validación también debe utilizarse a esa escala.

Por último, como conclusión más importante, hay que señalar que la estimación de la componente de mínimos del régimen de caudales ecológicos recogida en la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) requiere una revisión en profundidad.

Palabras clave: caudales ecológicos, planificación hidrológica, demarcaciones hidrográficas intercomunitarias, métodos hidrológicos.

Title:

ARE ENVIRONMENTAL FLOWS ECOLOGICAL? EVALUATION AND IMPROVEMENT PROPOSAL OF THE MINIMUM ENVIRONMENTAL FLOWS REGIME

Author:

Víctor Bravo Frías

ABSTRACT

In Royal Decree 35/2023, dated January 24th, which approves the revision of the hydrological plans for the hydrographic demarcations, the public administration established, in the third final provision of this decree, the obligation to update the Hydrological Planning Instruction (IPH). Specifically, this update must establish new “... *technical criteria and methodologies for determining environmental flows across all hydrographic demarcations, with the necessary specificities, and the criteria and procedures for establishing a zoning of groundwater bodies as a protective measure for the purposes of granting authorizations and concessions.*” Within this context, this work focuses on the evaluation and improvement proposal of minimum environmental flows, the only one of the five components of the environmental flow regime quantified in the regulations of Royal Decree 35/2023 for all water bodies.

The general objectives of this work can be summarized in two points: i) To provide a diagnosis of the hydrological adequacy of the minimum environmental flow regime in the third planning cycle; ii) To develop and apply a methodology for the objective assessment of the hydrological adequacy of any scenario involving minimum environmental flow regimes.

Minimum environmental flows specified in the current regulations for 67 river-type surface water bodies have been characterized and evaluated. This evaluation was conducted through five phases: i) Comparison with absolute minimums in the natural regime; ii) Assessment of the alteration of the hydrological regime; iii) Potential capacity to reduce hydrological alteration; iv) Actual capacity to reduce hydrological alteration; v) Proposal and evaluation of new hydrological genesis methodologies.

The main results indicate that: i) 58 out of the 67 analysed scenarios of minimum environmental flow regimes (87%) have three or more months with flows below the absolute minimums of the natural regime series, and therefore, are not hydrologically acceptable; ii) 67 out of the 67 analysed water bodies (100%) suffer some type of hydrological alteration; iii) In 60 out of the 67 water bodies (90%), the minimum environmental flow regime does not have the potential capacity to reduce the alteration; iv) Proposed scenarios 1 and 2 have the potential capacity to reduce hydrological alteration in 76% and 69% of the water bodies, respectively.

In response to these results, some proposed measures include: i) Ensuring that any proposed scenario of minimum environmental flow regimes maintains monthly values above the absolute minimum of the natural regime series; ii) Establishing the minimum environmental flow regime on a monthly scale, and accordingly, using the natural regime at that same scale for its estimation and/or validation.

Finally, the most significant conclusion is that the estimation of the minimum component of the environmental flow regime, as set out in the Hydrological Planning Instruction (IPH), requires a thorough review.

Key words: environmental flows, hydrological planning, intercommunity hydrographic demarcations, hydrological methods.

ÍNDICE

LISTA DE ACRÓNIMOS	14
ÍNDICE DE FIGURAS	16
ÍNDICE DE TABLAS.....	19
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
3. MATERIAL	6
3.1. Área de estudio	6
3.2. Masas de agua objeto de estudio	6
3.3. Series hidrológicas de cálculo	8
3.4. Métodos hidrológicos para la generación de escenarios de caudales ecológicos mínimos	10
4. MÉTODOS.....	12
4.1. Criterios para la selección de masas de agua representativas.....	12
4.2. Algoritmo de trabajo.....	18
4.2.1. Descripción general	18
4.2.2. Información general de la masa de agua superficial y componentes de caudales ecológicos	20
4.2.3. Caracterización por fases.....	24
5. RESULTADOS	43
5.1. Informes de las masas de agua superficiales	43
5.2. Resumen global	58
5.2.1. FASE 1. ¿El RCEmin (22-27) es hidrológicamente asumible?.....	58
5.2.2. FASE 2. ¿La alteración hidrológica es baja?.....	59
5.2.3. FASE 3. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad potencial para reducir la alteración?.....	59
5.2.4. FASE 5. ¿Los escenarios propuestos tienen capacidad potencial para reducir la alteración?	59

5.3.	Resumen por variables.....	61
5.3.1.	RCEmin (22-27).....	61
5.3.2.	R_PRE.....	63
5.3.3.	R_PRE+RCEmin.....	64
5.3.4.	RCEsel (1) y RCEsel (2).....	66
5.3.5.	R_PRE+RCEsel.....	68
6.	DISCUSIÓN.....	69
6.1.	EL RCEmin (22-27) ¿Es hidrológicamente asumible?.....	69
6.2.	EL RCEmin (22-27) ¿tiene capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica?.....	75
6.3.	Para estimar RCEmin ¿qué método es recomendable?.....	76
7.	CONCLUSIONES.....	78
8.	PROPUESTA PARA LA MEJORA DE LA INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.....	79
	REFERENCIAS.....	85
	ANEJOS.....	88
	ANEJO I: Mapas de localización.....	88
	ANEJO II: CAUDALES ECOLÓGICOS. Un patrimonio esencial para la biodiversidad de España y Portugal (disponible en formato electrónico).....	97
	ANEJO III: Informes de las 67 masas de aguas superficiales objeto de estudio (disponible en formato electrónico).....	98
	ANEJO IV: Variables obtenidas para cada masa de agua superficial (disponible en formato electrónico).....	99
	ANEJO V: Comparación de percentiles de excedencia 95% y 85%: caudales medios mensuales vs. caudales medios diarios.....	100

LISTA DE ACRÓNIMOS

ApAnual: Aportación anual (hm³)

CC: Corrección por cuenca

CE: Código europeo

CEDEX: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

CHD: Confederación Hidrográfica del Duero

Damb: Demanda ambiental

DH: Demarcación hidrográfica

DHGD: Demarcación hidrográfica del Guadiana

DHGV: Demarcación hidrográfica del Guadalquivir

DHD: Demarcación hidrográfica del Duero

DHE: Demarcación hidrográfica del Ebro

DHJ: Demarcación hidrográfica del Júcar

DHMS: Demarcación hidrográfica del Miño-Sil

DHT: Demarcación hidrográfica del Tajo

DMA: Directiva Marco del Agua

EA: Estación de aforo

IAHRIS: Índices de Alteración Hidrológica en Ríos

IPH: Instrucción de Planificación Hidrológica

MSPF: Masa de agua superficial tipo río

NdC_D: Nivel de confianza parcial en cuanto a la disponibilidad de datos de caudales

NdC_G: Nivel de confianza global

NdC_PE: Nivel de confianza parcial en cuanto al punto de estudio

PHC: Plan hidrológico de cuenca

RNmin: Caudal mínimo absoluto en la serie de régimen natural (m³/s)

RN_P95: Caudal correspondiente al percentil de excedencia del 95% en la serie régimen natural (m³/s)

RCEmin: Régimen de caudales ecológicos mínimos

RCEmin (22-27): Régimen de caudales ecológicos mínimos recogido en la Normativa de los Planes Hidrológicos de Cuenca del 3^{er} ciclo (2022-2027)

RD: Real Decreto

RN: Régimen natural

R_POST: Régimen real de caudales previo a la implementación de RCEmin

R_PRE: Régimen real de caudales previo a la implementación de RCEmin

R_PRE+RCEmin: Régimen real previo a la implementación de RCEmin + Régimen de caudales ecológicos mínimos normativos recogido en los Planes Hidrológicos de Cuenca del 3^{er} ciclo (2022-2027)

R_PRE+RCEsel (1): Régimen real previo a la implementación de RCEmin + Régimen de caudales ecológicos mínimos seleccionado N°1

R_PRE+RCEsel (2): Régimen real previo a la implementación de RCEmin + Régimen de caudales ecológicos mínimos seleccionado N°2

RReal: Régimen real

RPH: Reglamento de Planificación Hidrológica

RDPH: Reglamento del Dominio Público Hidráulico

SIMPA: Sistema Integrado para la Modelización del proceso Precipitación

TRLA: Texto refundido de la Ley de Aguas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de situación de las MSPF y EA seleccionadas (véase ANEJO I: Mapas de localización).....	7
Figura 2. Ejemplo de disponibilidad de las series de caudales (color negro: series simuladas implementadas; color naranja: series en régimen real; color azul: serie en régimen natural).....	9
Figura 3. Número de MSPF según su estado ecológico y naturaleza.	13
Figura 4. Número de MSPF en función del tipo y su naturaleza.	13
Figura 5. Síntesis del algoritmo de trabajo	19
Figura 6. Ejemplo de localización de las series de caudales; (diferencia%=S(%)=100*(superficie azul)/(superficie rosada)).	21
Figura 7. Porcentaje (%) de MSPF según el nivel de confianza global.	22
Figura 8. Número de MSPF según el nivel de confianza global en cada DH.	22
Figura 9. Situación de la FASE 1 en el algoritmo de trabajo.	24
Figura 10. Ejemplo de aplicación de la FASE 1 en la MSPF “Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador” (ES030MSPF0102021), con EA “3258”.	25
Figura 11. Síntesis de la FASE 1.....	26
Figura 12. Situación de la FASE 2 en el algoritmo de trabajo.	27
Figura 13. Ejemplo de aplicación de la FASE 2 en la MSPF “Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador” (ES030MSPF0102021), con EA “3258”.	28
Figura 14. Síntesis de la FASE 2.....	29
Figura 15. Situación de la FASE 3 en el algoritmo de trabajo.	30
Figura 16. Ejemplo de aplicación de la FASE 3 en la MSPF “Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador” (ES030MSPF0102021), con EA “3258”.	32
Figura 17. Síntesis de la FASE 3.....	33
Figura 18. Situación de la FASE 4 en el algoritmo de trabajo.	34
Figura 19. Síntesis de la FASE 4.....	37
Figura 20. Situación de la FASE 5 en el algoritmo de trabajo.	38
Figura 21. Ejemplo de aplicación de la FASE 5.1 en la MSPF “Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador” (ES030MSPF0102021), con EA “3258”.	41
Figura 22. Índice de los informes de las MSPF.....	43
Figura 23. Información general de la MSPF (1).....	44
Figura 24. Información general de la MSPF (2).....	45

Figura 25. Información general de la MSPF (3).....	46
Figura 26. FASE 1. ¿El RCEmin (22-27) es hidrológicamente asumible?	47
Figura 27. FASE 2. Evaluación de la alteración hidrológica (1).....	48
Figura 28. FASE 2. Evaluación de la alteración hidrológica (2).....	49
Figura 29. FASE 3. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad potencial para reducir la alteración del régimen hidrológico?	50
Figura 30. FASE 3. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad potencial para reducir la alteración del régimen hidrológico?	51
Figura 31. FASE 4. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad real para mitigar las alteraciones hidrológicas del régimen de caudales? (1).	52
Figura 32. FASE 4. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad real para mitigar las alteraciones hidrológicas del régimen de caudales? (2).	53
Figura 33. FASE 5.1. Caracterización y selección de escenarios (1).....	54
Figura 34. FASE 5.1. Caracterización y selección de escenarios (2).....	55
Figura 35. FASE 5.2. Evaluación de los escenarios seleccionados.....	56
Figura 36. Resumen de los resultados por fases.....	57
Figura 37. Resultados de la FASE 1.....	58
Figura 38. Resultados de la FASE 2 para el total de MSPF.....	59
Figura 39. Resultados de la FASE 3.....	59
Figura 40. Resultados de la FASE 5 (escenario N°2).....	60
Figura 41. Resultados de la FASE 5 (escenario N°1).....	60
Figura 42. Número de MSPF según el número de meses en los que RCEmin (22-27) <RNmin.	61
Figura 43. Número de MSPF según el número de meses en los que el RCEmin (22-27) <RN_P95.	62
Figura 44. Número de MSPF clasificadas según la demanda ambiental (Damb) del RCEmin (22-27) (ver definición de Damb, pág 39).....	62
Figura 45. Número de MSPF según el número de meses dentro del rango (ver definición de rango, pág.27)	63
Figura 46. Porcentaje (%) de MSPF según el tipo de alteración hidrológica. (inv: inversión de la estacionalidad; det: detracción; inv_det: inversión y detracción; inv_tras: inversión y trasvase; OTRAS: Otros tipos de alteración hidrológica; SA: sin alteración).	63
Figura 47. Número de MSPF con inversión según el valor del promedio de I en junio, julio y agosto (ver definición en Tabla 6).	64

Figura 48. Número de MSPF con inversión según el valor de "I" ApAnual (ver definición en Tabla 6).....	64
Figura 49. Número de MSPF según el número medio de días en los que se implementa el RCEmin (22-27).	65
Figura 50. Número de MSPF según el mes en el que más veces se implementa el RCEmin (22-27).	65
Figura 51. Número de MSPF según la estación en la que más veces se ha implementado el RCEmin (22-27).	66
Figura 52. Métodos de generación de RCEmin seleccionados (ver pág. 39).....	66
Figura 53. Métodos más seleccionados (Suma de RCEsel (1) y RCEsel (2)).....	67
Figura 54. Comparación de la demanda ambiental (RCEmin (22-27), RCEsel(1) y RCEsel(2))(ver pág 39).	67
Figura 55. Comparación de la eficiencia (RCEmin (22-27), RCEsel (1) y RCEsel (2)) (ver definición de eficiencia, pág. 39).....	67
Figura 56. Comparación de la puntuación (RCEmin (22-27), RCEsel (1) y RCEsel (2)).	68
Figura 57. Comparación del cambio significativo tras la implementación (R_PRE+RCEmin, R_PRE +RCEsel(1) y R_PRE +RCEsel(2)) (ver definición de cambio significativo, pág 31).	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de MSPF por demarcación hidrográfica.....	6
Tabla 2. Síntesis de las series de caudales a utilizar.....	9
Tabla 3. Masas de agua representativas seleccionadas según los criterios establecidos (Tipos de alteraciones hidrológicas - inv: inversión de la estacionalidad; det: detracción; inv_det: inversión y detracción; inv_tras: inversión y trasvase; OTRAS: Otros tipos de alteración hidrológica; SA: sin alteración).	14
Tabla 4. Nivel de confianza parcial en función de S%.....	21
Tabla 5. Nivel de confianza parcial en función de N°	22
Tabla 6. Caracterización del tipo de alteración.	30
Tabla 7. Ejemplo de aplicación de la FASE 5.1 en la MSPF “Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador” (ES030MSPF0102021), con EA “3258”.	40
Tabla 8. Resumen global de resultados por FASES.....	58
Tabla 9. Metodologías empleadas para la estimación del RCEmin en el 3 ^{er} ciclo de planificación hidrológica (2022-2027).	73
Tabla 10. Propuestas de mejora.....	80

1. INTRODUCCIÓN

El régimen de caudales ecológicos es un elemento esencial para el mantenimiento de la estructura y la función de los ríos, y de los ecosistemas que dependen de ellos. Tras la adopción de la Directiva Marco del Agua, a pesar de no estar expresamente definidos por esta norma europea, los caudales ecológicos de las masas de agua deben entenderse como el volumen de agua que debe circular por los cauces, en tiempo y forma adecuadas, para asegurar el cumplimiento de los objetivos ambientales de dichas masas de agua y de aquellas otras que dependen de ellas (p.e. acuíferos).

El propio Real Decreto Legislativo 1/2001 por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA) menciona en su artículo 42, que los planes hidrológicos de cuenca (PHC) definirán “... *La asignación y reserva de recursos para usos y demandas actuales y futuros, así como para la conservación y recuperación del medio natural. A este efecto se determinarán los caudales ecológicos, entendiendo como tales los que mantienen como mínimo la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera*”.

Por su parte, el Real Decreto 849/1986, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH) entra con mayor detalle en el régimen de caudales ecológicos. Aquí se establece en el artículo 49 ter que “... *el establecimiento del régimen de caudales ecológicos tiene la finalidad de contribuir a la conservación o recuperación del medio natural y mantener como mínimo la vida piscícola que, de manera natural, habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera, y a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológicos en las masas de agua, así como a evitar su deterioro. Así mismo, el caudal ecológico deberá ser suficiente para evitar que por razones cuantitativas se ponga en riesgo la supervivencia de la fauna piscícola y la vegetación de ribera*”. También establece este artículo que “... *Los caudales ecológicos no tendrán el carácter de uso, debiendo considerarse como una restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación. En consecuencia, las disponibilidades hídricas obtenidas en estas condiciones son las que pueden ser objeto de asignación y reserva en los planes hidrológicos de cuenca*”. Abundando en este sentido, el apartado 2 del artículo 96, establece que “*Las concesiones y reservas para usos existentes o previsibles se otorgan según las disponibilidades existentes obtenidas una vez que se ha*

aplicado la restricción derivada del cumplimiento de los caudales ecológicos de conformidad con el artículo 49 ter”.

Así mismo esta norma establece la obligación del mantenimiento del régimen de caudales ecológicos fijados en el artículo 49 quáter, que entre otras consideraciones dice que “... *la exigencia en el cumplimiento de los caudales ecológicos se mantendrá en todos los sistemas de explotación, con la única excepción del abastecimiento a poblaciones cuando no exista una alternativa razonable que pueda dar satisfacción a esta necesidad, y hayan planificado conforme al artículo 22.3.a) del texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana, aprobado por el Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre...*”, así como que “... *la inexistencia de obligación expresa en relación con el mantenimiento de caudales ecológicos en las autorizaciones y concesiones otorgadas por la Administración hidráulica no exonerará al concesionario de la observancia de los mismos*”.

También en el artículo 49 sexies de esta norma se informa sobre el contenido y características del programa de seguimiento y evaluación del régimen de caudales ecológicos que deben incluir los planes hidrológicos de demarcación. En particular resulta especialmente importante el informe trianual completo en el que se debe incorporar, entre otras cosas, “... *la evaluación de la eficacia de los caudales ecológicos sobre el medio fluvial basada en; (1) un análisis de la relación entre el cumplimiento de los caudales ecológicos y el estado o potencial ecológico de las masas de agua, (2) un análisis de la relación entre el cumplimiento de los caudales ecológicos y de los hábitats y especies ligados al medio acuático asociado, (3) un análisis de la sostenibilidad del aprovechamiento de las aguas subterráneas y su relación con el mantenimiento de los caudales ecológicos, y (4) una evaluación de las previsiones del efecto del cambio climático sobre los ecosistemas acuáticos y su relación con los caudales ecológicos implantados*”.

Por otro lado, el Real Decreto 907/2007 por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica (RPH) establece en su artículo 18 que “... *el plan hidrológico determinará el régimen de caudales ecológicos en los ríos y aguas de transición definidos en la demarcación, incluyendo también las necesidades de agua de los lagos y de las zonas húmedas, atendiendo a lo dispuesto en los artículos 49 ter y siguientes del RDPH*”. Se indica también en esta norma que “... *este régimen de caudales ecológicos se establecerá de modo que permita mantener de forma sostenible la funcionalidad y*

estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición. Para su establecimiento los organismos de cuenca realizarán estudios específicos en cada tramo de río...”, así como que “... en la determinación del flujo interanual medio requerido para el cálculo de los recursos disponibles de agua subterránea se tomará como referencia el régimen de caudales ecológicos calculado según los criterios definidos”.

Si en el texto refundido de la Ley de Aguas y en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico se hace énfasis en el papel de los caudales ecológicos para mantener la fauna piscícola y la vegetación de ribera, el artículo 49 ter del RPH, en su apartado 3, vincula los caudales ecológicos con el mantenimiento de las condiciones hidromorfológicas, señalando que *“...constituye una medida básica (para garantizar las condiciones hidromorfológicas) la implantación de las distintas componentes del régimen de caudales ecológicos mediante su inclusión en la parte normativa de los planes hidrológicos.”*

Finalmente, entre las normas aplicables a los caudales ecológicos encontramos la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, de la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), modificada por la Orden ARM/1195/2011, de 11 de mayo. El objeto de esta instrucción es establecer una serie de criterios técnicos de mayor detalle para la homogeneización y sistematización de los trabajos de elaboración de los planes hidrológicos de cuenca, conforme a lo establecido en el Reglamento de la Planificación Hidrológica (Real Decreto 907/2007). Ésta desarrolla todas las cuestiones relacionadas con los caudales ecológicos en su sección 3.4 CAUDALES ECOLÓGICOS. Conviene destacar también que en la sección 3.5 ASIGNACIÓN Y RESERVA DE RECURSOS, al abordar la simulación de los sistemas de explotación (epígrafe 3.5.1.2), se exige la elaboración de un modelo que comprenderá, entre otros elementos, *“...caudales ecológicos de los ríos y aguas de transición y los requerimientos hídricos de los lagos y zonas húmedas.”*

Los organismos de cuenca intercomunitarios, y algunos organismos de cuenca intracomunitarios, han seguido la guía establecida por la Instrucción de Planificación Hidrológica en el desarrollo de los tres primeros ciclos de planificación hidrológica, al menos en lo relativo al establecimiento de un régimen de caudales ecológico para las distintas masas de agua.

Con la aprobación de los planes hidrológicos de las demarcaciones intercomunitarias, a través del Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro, la administración pública ha establecido en la Disposición final tercera de esta norma la obligación de actualizar la IPH, en el plazo de 18 meses desde la entrada en vigor de éste. El objetivo de esta actualización es la “... *adecuación al Reglamento de la Planificación Hidrológica, en relación con su modificación aprobada por el Real Decreto 1159/2021, de 28 de diciembre*. En particular esta actualización debe fijar los nuevos “... *criterios técnicos y metodologías para la determinación de los caudales ecológicos para el conjunto de las demarcaciones hidrográficas, con las especificidades que se requieran, y los criterios y el procedimiento para establecer una zonificación de las masas de agua subterránea como medida de protección, a efectos del otorgamiento de autorizaciones y concesiones*”.

WWF España ha trabajado intensamente en los tres ciclos de planificación hidrológica en España (2009-2015, 2016-2021 y 2022-2027) para avanzar en la adopción de un régimen de caudales ecológicos adecuado a las necesidades de los ríos españoles, y señalando la necesidad explícita de compatibilizar dicho régimen con las necesidades de agua de los tramos portugueses. Aunque con el tiempo ha habido mejoras en el conocimiento de estas necesidades de los ríos ibéricos, la realidad, a juicio de WWF, es que los caudales ecológicos definidos en los planes hidrológicos actuales son insuficientes para ajustarse al requerimiento fundamental exigido por la normativa vigente: mejorar y conservar el buen estado de los ríos y los ecosistemas que dependen de ellos.

En este contexto, y dada la disposición por parte de la administración pública competente de modificar lo establecido en la Instrucción de Planificación Hidrológica, desde WWF se piensa que es oportuno y necesario abordar dicha modificación partiendo de un análisis hidrológico adecuado, que permita diagnosticar los problemas que aquejan a un conjunto significativo y representativo de masas de agua y evaluar el papel que realmente puede desempeñar el régimen de caudales ecológicos establecidos en el tercer ciclo de planificación. Con los resultados de ese análisis se pretende proponer mejoras en los criterios técnicos y metodologías para la determinación de los caudales ecológicos que contribuyan a alcanzar de una manera más eficaz y eficiente los objetivos ambientales de

la Directiva Marco del Agua, de protección y no deterioro del estado de estas masas de agua superficiales.

2. OBJETIVOS

Los objetivos generales de este trabajo pueden resumirse en dos:

- Ofrecer un diagnóstico de la adecuación hidrológica del régimen de caudales ecológico mínimo (RCEmin) del tercer ciclo de planificación.
- Desarrollar y aplicar una metodología para la valoración objetiva de la adecuación hidrológica de cualquier escenario de RCEmin.

Como objetivo específico, a alcanzar a partir de los resultados ofrecidos con los dos anteriores, se plantea que dichos resultados sirvan como soporte del papel de posición que elaborará WWF España sobre el rol de los caudales ecológicos y el proceso de revisión de los mismos recogido en la disposición final tercera del Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueban los planes hidrológicos de las demarcaciones intercomunitarias.

3. MATERIAL

3.1. Área de estudio

Con el fin de analizar un amplio espectro de casuísticas que reflejasen la realidad de los caudales ecológicos en España, se decidió acotar el área de estudio a las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias, porque la información, especialmente en lo que respecta al régimen natural de caudales, era más accesible. Para el tratamiento, manejo y representación de la información geográfica ligada al área de estudio se utilizó el software ArcGis Pro.

Las siete demarcaciones hidrográficas intercomunitarias objeto de estudio son:

- Demarcación hidrográfica del Tajo (DHT)
- Demarcación hidrográfica del Duero (DHD)
- Demarcación hidrográfica del Ebro (DHE)
- Demarcación hidrográfica del Júcar (DHJ)
- Demarcación hidrográfica del Miño-Sil (DHMS)
- Demarcación hidrográfica del Guadalquivir (DHGV)
- Demarcación hidrográfica del Guadiana (DHGD)

3.2. Masas de agua objeto de estudio

Del proceso de selección resultó un total de 67 masas de agua superficial (MSPF) (los criterios utilizados se presentan en el epígrafe 4.1). En la *Tabla 1* se recoge su distribución en las siete demarcaciones. La diferencia en el número seleccionado en cada demarcación hidrográfica (DH) se debe principalmente a su superficie, así como a la disponibilidad de datos.

Tabla 1. Número de MSPF por demarcación hidrográfica.

Demarcación hidrográfica	Nº de MSPF
Tajo	8
Duero	16
Ebro	17
Júcar	7
Miño-Sil	5
Guadalquivir	8
Guadiana	6
Total	67

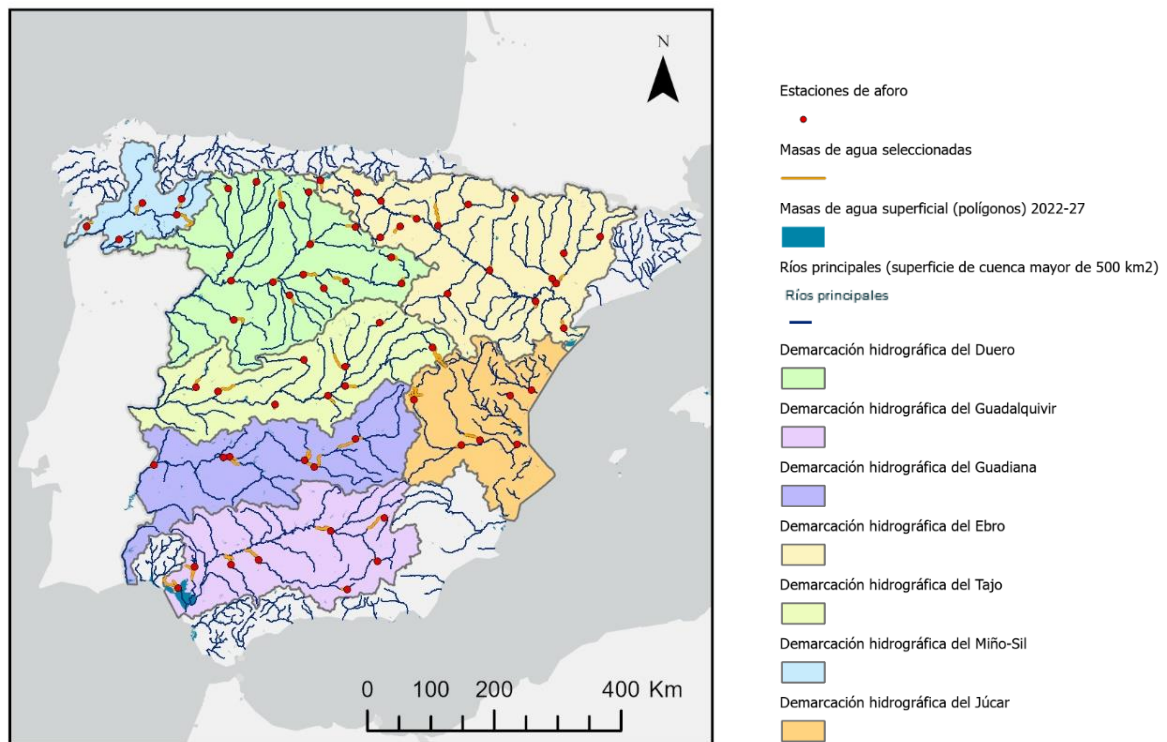


Figura 1. Mapa de situación de las MSPF y EA seleccionadas (véase ANEJO I: Mapas de localización).

Se consultaron las siguientes fuentes de cartografía digital:

- GeoPortal del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Medio Ambiente y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (<https://sig.mapama.gob.es/geoportal/>) empleado para la selección de MSPF, consulta de EA, así como información geográfica asociada.
- Capa shapefile de las masas de agua superficiales (<https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/masas-de-agua-phc-2022-2027.html>) utilizada para la representación geográfica de los resultados.
- Capa shapefile del anuario de aforos: Red Integrada de Estaciones de Aforos (SAIH-ROEA) (<https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/anuario-de-aforos.html>) utilizada para la representación geográfica de los resultados.

3.3. Series hidrológicas de cálculo

Para el tratamiento y manejo de los datos se utilizó el programa Excel. A continuación, se listan las cinco series hidrológicas que se han obtenido para cada MSPF.

-Régimen de caudales ecológicos mínimos 3^{er} ciclo (RCEmin (22-27)): Valores de caudales mensuales mínimos en condiciones ordinarias recogidos en la Normativa del tercer ciclo de planificación hidrológica (2022-2027).

-Régimen natural (RN)¹: Se asume que para las masas de agua en las que está establecido RCEmin hay disponible una serie de datos en RN de caudales medios mensuales o aportaciones mensuales.

-Régimen real (RReal): Se entiende como el régimen de caudales circulante por la EA. Para la aplicación de la metodología de este trabajo ha sido necesario diferenciar el RReal de caudales en dos series hidrológicas (R_PRE y R_POST) en función del ciclo de planificación hidrológica en el que se estableció el RCEmin, por lo que los años de inicio y fin de estas series varía en cada MSPF.

-Régimen real + Régimen de caudales ecológicos mínimos (R_PRE+RCEmin): Serie obtenida a partir de la simulación de la implementación a nivel diario del RCEmin en la serie R_PRE. En el caso de esta serie y las de RReal se trabajó con caudales medios diarios, que posteriormente se presentaron a nivel de caudal medio mensual.

¹ Aunque para todo el territorio peninsular español están disponibles las estimaciones a escala mensual del régimen natural para un amplio periodo (SIMPA 1980-2020), su uso por la distintas Confederaciones ha sido muy dispar. CH Júcar, por ejemplo, no utiliza SIMPA; emplea un modelo propio PATRICAL. Otras CH, utilizan SIMPA como base, pero han sometido a los valores que ofrece a un proceso de validación y ajuste, por lo que en unas masas son valores de SIMPA sin modificaciones y en otras se han modificado para tratar de reflejar mejor el régimen natural. Estas peculiaridades son las que han motivado la utilización como régimen natural de las series utilizadas por las Confederaciones, y no directamente los valores de SIMPA disponibles en el repositorio del MITECO.

Se consultaron las siguientes fuentes de datos de caudales o aportaciones:

- Anuario de aforos-CEDEX (<https://ceh.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>) consultado para la descarga de los registros de alturas y caudales medios diarios (m^3/s) de las estaciones de aforo en RReal.
- Anejo de inventario de recursos hídricos de los Planes Hidrológicos (2022-2027) de las DH intercomunitarias (https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/pphh_tercer_ciclo.html) consultado para la obtención de la serie RN, normalmente aportaciones mensuales (hm^3).
- Normativa de los Planes Hidrológicos (2022-2027) de las DH intercomunitarias (https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/pphh_tercer_ciclo.html) consultado para la obtención de los valores del RCEmin (22-27).

3.4. Métodos hidrológicos para la generación de escenarios de caudales ecológicos mínimos

Para la propuesta de nuevos escenarios de RCEmin se han utilizado métodos hidrológicos. Estos métodos se han seleccionado en base al trabajo realizado por la Universidad Politécnica de Madrid y WWF España (*ANEJO II: CAUDALES ECOLÓGICOS. Un patrimonio esencial para la biodiversidad de España y Portugal (disponible en formato electrónico)*), incorporando un método más -ADMM- y una versión actualizada de los métodos IAHRIS:

- Método de Tennant (Tennant, 1976)
- Método de Tessman (Tessman, 1980)
- Variable Monthly Flow (VMF) (Pastor et al., 2014)
- New Modified Tennant Method (NMTM) (Li & Kang, 2014) (P90, FAIR, GOOD y EXCELLENT)
- ADMM: Es una modificación del "Annual distribution method" (Suwal, N. et al., 2020) desarrollada por Martínez Santa-María y Fernández Yuste (comunicación personal).
- IAHRIS P80, P85 y P90: Métodos desarrollados por Martínez Santa-María y Fernández Yuste (comunicación personal).

Se descartó incluir el método de Flow Duration Curve (FDC)-Shifting (Shaeri Karimi, Yasi, & Eslamian, 2012) al demostrarse que, pese a no arrojar malos resultados, no destaca respecto al resto de metodologías. De igual manera ocurre con el método Tennant, sin embargo, se decide mantener por ser un referente en las metodologías hidrológicas.

4. MÉTODOS

A continuación, se presenta la metodología que se ha seguido en el presente trabajo. La aplicación de esta se ha desarrollado en dos etapas: la primera consistió en establecer y aplicar los criterios que deben satisfacer las masas de agua superficiales tipo río (MSPF) para poder ser seleccionadas; la segunda es la aplicación del algoritmo de trabajo propuesto, de manera secuencial para cada una de las MSPF seleccionadas.

4.1. Criterios para la selección de masas de agua representativas

A nivel de cada demarcación, se ha seleccionado un número de masas de agua superficial tipo río. Para esta selección se utilizaron los siguientes criterios:

- MSPF representativas: Esto es, un conjunto de MSPF que presentaran un rango amplio de variabilidad en cuanto a: tipo de alteración hidrológica, tipología, estado o potencial ecológico, ubicación respecto a grandes presas y localización en la posición en la red de drenaje (tramo alto, medio y bajo).
- Adecuada localización de la estación de aforos (EA): Esto es, MSPF con una EA cercana al punto de inicio o de cierre de la masa.
- Definición de la componente de caudales ecológicos mínimos: MSPF que tengan definido el RCEmin en la normativa vigente del PHC (22-27).
- Disponibilidad de datos para RN: Serie de caudales medios mensuales en RN utilizada por el organismo de cuenca para la planificación del 3^{er} ciclo.
- Disponibilidad de datos para R_PRE: Acceso a los datos de caudales o aportaciones RReal para la MSPF seleccionada.

Para llevar a cabo la aplicación de estos criterios, y por lo tanto la selección de MSPF, se hizo uso del visor GeoPortal.

A continuación, se muestra en las *Figuras 3 y 4*, la variabilidad de la muestra de masas de agua seleccionadas para este trabajo, en cuánto a estado ecológico, y tipología según su naturaleza. La relación de las masas de agua se puede consultar en la *Tabla 3*, dónde se recoge la información principal referida a cada MSPF seleccionada. Esto es, su código europeo, demarcación hidrográfica a la que pertenece, naturaleza, estado ecológico, tipología y tipo de alteración.

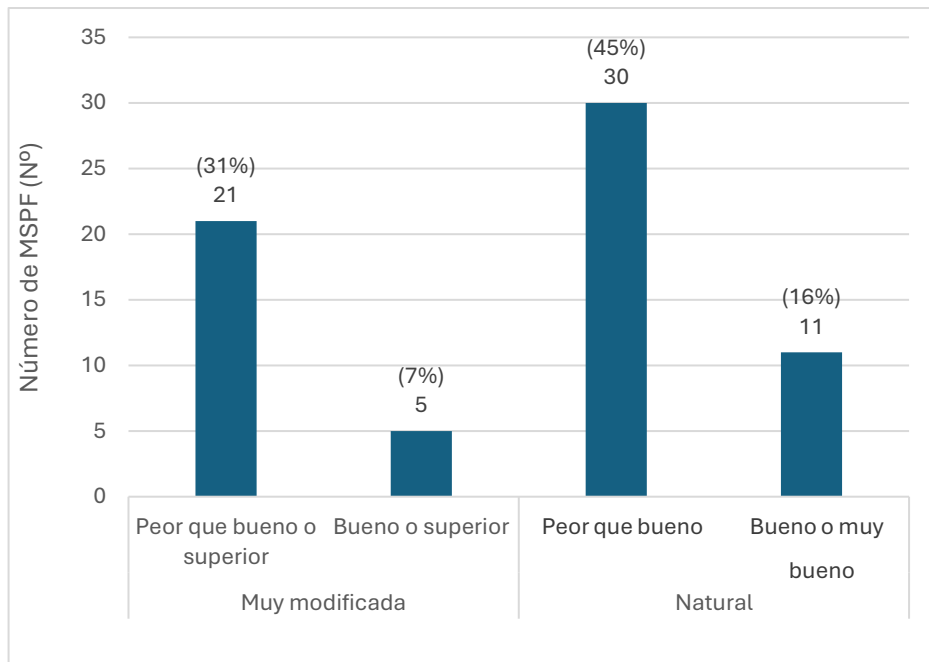


Figura 3. Número de MSPF según su estado ecológico y naturaleza.

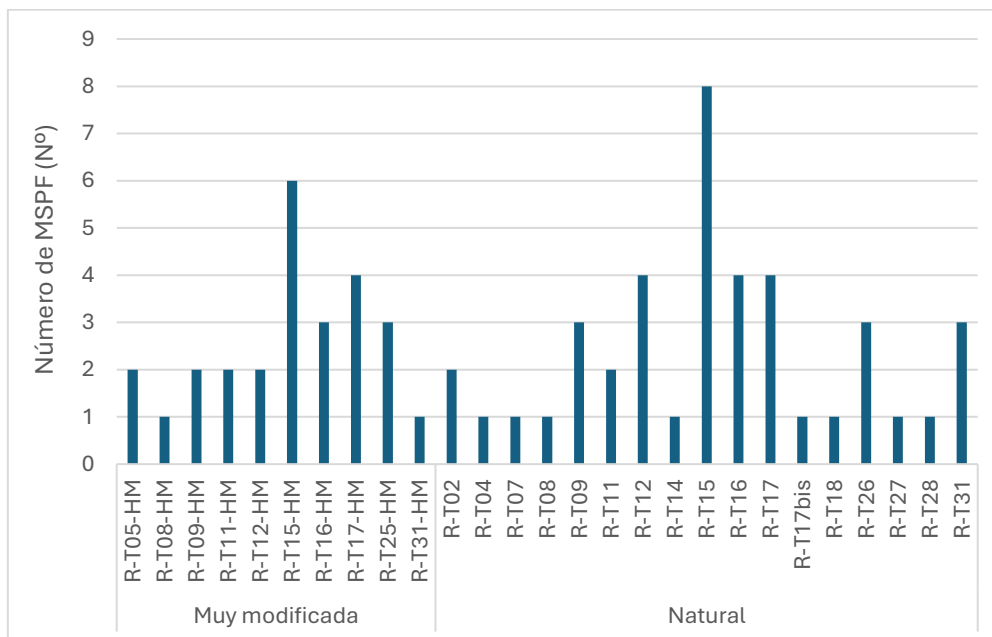


Figura 4. Número de MSPF en función del tipo y su naturaleza.

Tabla 3. Masas de agua representativas seleccionadas según los criterios establecidos (Tipos de alteraciones hidrológicas - inv: inversión de la estacionalidad; det: detracción; inv_det: inversión y detracción; inv_tras: inversión y trasvase; OTRAS: Otros tipos de alteración hidrológica; SA: sin alteración).

Nombre	Código europeo (CE)	DH	Naturaleza	Estado ecológico	Tipo	Alteración
Río Porma 2 (Río Porma desde la presa del embalse del Porma hasta su confluencia con el arroyo de Oville, y arroyo Oville)	ES020MSPF000000026	Duero	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T25-HM	inv
Río Pisuerga 3 (Río Pisuerga desde la presa del embalse de Aguilar de Campoo hasta su confluencia con el río Camesa, y arroyo de Corvio)	ES020MSPF000000085	Duero	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T12-HM	inv
Río Carrión 3 (Río Carrión desde la presa del embalse de Velilla de Guardo hasta el retorno del canal de Villalba)	ES020MSPF000000149	Duero	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T25-HM	inv
Río Arlanza 6 (Río Arlanza desde confluencia con río Arlanzón hasta confluencia con río Pisuerga)	ES020MSPF000000159	Duero	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T16-HM	OTRAS
Río Arlanzón 3 (Río Arlanzón desde la presa del embalse de Úzquiza hasta confluencia con río Salguero)	ES020MSPF000000186	Duero	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T11-HM	inv
Río Esla 9 (Río Esla desde aguas abajo de la confluencia con el río Tera hasta el embalse de Ricobayo)	ES020MSPF000000298	Duero	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T17-HM	OTRAS
Río Duero 4 (Río Duero desde cabecera hasta la confluencia con río Triguera, y río Triguera)	ES020MSPF000000307	Duero	Muy modificada	Bueno o superior	R-T11-HM	inv
Río Duero 16 (Río Duero desde confluencia con río Duratón en Peñafiel hasta inicio del canal del Duero)	ES020MSPF000000344	Duero	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T16-HM	OTRAS
Río Duero 9 (Río Duero desde confluencia con río Mazos hasta aguas arriba de Almazán)	ES020MSPF000000355	Duero	Muy modificada	Bueno o superior	R-T15-HM	OTRAS
Río Riaza 5 (Río Riaza desde presa del embalse Linares de Arroyo hasta confluencia con arroyo de la Serrezuela)	ES020MSPF000000372	Duero	Muy modificada	Bueno o superior	R-T12-HM	inv
Río Duero 21 (Río Duero desde la confluencia con río Pisuerga hasta confluencia con arroyo del Perú)	ES020MSPF000000377	Duero	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T17-HM	OTRAS
Río Duero 26 (Río Duero desde confluencia con el arroyo de Algodre hasta confluencia con arroyo de Valderrey en Zamora)	ES020MSPF000000397	Duero	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T17-HM	OTRAS
Río Eresma 8 (Río Eresma desde confluencia con río Voltoya hasta confluencia con arroyo del Cuadrón)	ES020MSPF000000446	Duero	Natural	Peor que bueno	R-T04	OTRAS
Río Tormes 8 (Río Tormes desde aguas abajo de Francos Viejos hasta Aldehuela de los Guzmanes)	ES020MSPF000000546	Duero	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T15-HM	inv
Río Duratón 5 (Río Duratón desde la presa del embalse de Las Vencías hasta aguas arriba de Vivar de Fuentidueña)	ES020MSPF000000831	Duero	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T15-HM	OTRAS
Río Luna 2 (Río Luna desde la presa del embalse de Barrios de Luna hasta la central de San Isidoro y río Irede)	ES020MSPF030400837	Duero	Muy modificada	Bueno o superior	R-T25-HM	inv

Nombre	Código europeo (CE)	DH	Naturaleza	Estado ecológico	Tipo	Alteración
Río Najerilla desde la Presa de Mansilla hasta la Presa del contraembalse de Mansilla	ES091MSPF189	Ebro	Natural	Bueno o muy bueno	R-T11	inv
Río Ebro desde la confluencia con el Jerea en el azud de Cillaperlata hasta la confluencia con el río Molinar	ES091MSPF400	Ebro	Natural	Bueno o muy bueno	R-T15	inv
Río Zadorra desde el río Ayuda hasta su desembocadura en el río Ebro (final del tramo modificado de Miranda de Ebro)	ES091MSPF406	Ebro	Natural	Peor que bueno	R-T15	OTRAS
Río Ebro desde el río Leza hasta el río Linares (tramo canalizado)	ES091MSPF412	Ebro	Natural	Peor que bueno	R-T15	OTRAS
Río Aragón desde la Presa de Yesa hasta el río Irati	ES091MSPF417	Ebro	Natural	Bueno o muy bueno	R-T15	det
Río Arga desde el río Salado hasta su desembocadura en el río Aragón	ES091MSPF423	Ebro	Natural	Peor que bueno	R-T15	SA
Río Gállego desde el azud de Urdán hasta su desembocadura en el río Ebro	ES091MSPF426_001	Ebro	Natural	Peor que bueno	R-T15	det
Río Segre desde el río Sed hasta la cola del Embalse de Ribarroja	ES091MSPF433	Ebro	Natural	Peor que bueno	R-T15	det
Río Cinca desde la Clamor Amarga hasta su desembocadura en el río Segre	ES091MSPF441	Ebro	Natural	Peor que bueno	R-T15	OTRAS
Río Jalón desde el río Jiloca hasta el río Perejiles	ES091MSPF442	Ebro	Natural	Peor que bueno	R-T16	inv
Río Ebro desde el azud de Xerta hasta la estación de aforos 27 de Tortosa	ES091MSPF463_001	Ebro	Natural	Peor que bueno	R-T17bis	OTRAS
Río Ebro desde la Presa del Ebro hasta el río Polla	ES091MSPF468	Ebro	Natural	Bueno o muy bueno	R-T26	inv
Río Iregua desde el puente de la carretera de Almarza hasta el azud de Islallana	ES091MSPF506	Ebro	Natural	Bueno o muy bueno	R-T26	inv
Río Segre desde la Presa de Oliana hasta la cola del Embalse de Rialb	ES091MSPF637	Ebro	Natural	Bueno o muy bueno	R-T26	OTRAS
Río Gállego desde la Presa de Búbal hasta el río Sía (inicio del tramo canalizado aguas abajo de Biescas) y el retorno de las centrales de Biescas I y II	ES091MSPF706	Ebro	Natural	Bueno o muy bueno	R-T27	det
Río Noguera Ribagorzana desde la Presa de Santa Ana hasta la toma de canales en Alfarrás	ES091MSPF820	Ebro	Natural	Peor que bueno	R-T12	OTRAS
Río Guadalupe desde la Presa de Caspe hasta el azud de Rimer	ES091MSPF963	Ebro	Natural	Peor que bueno	R-T09	det
Río Corbones hasta la desembocadura	ES050MSPF011002029	Guadalquivir	Natural	Peor que bueno	R-T02	det
Tramo medio del río Guadiamar y afluentes por su margen derecha	ES050MSPF011002040	Guadalquivir	Natural	Peor que bueno	R-T02	inv

Nombre	Código europeo (CE)	DH	Naturaleza	Estado ecológico	Tipo	Alteración
Arroyo de la Rocina hasta Marisma de Doñana	ES050MSPF011002050	Guadalquivir	Natural	Peor que bueno	R-T18	det
Río Genil aguas abajo de la presa de Canales hasta el río Darro	ES050MSPF011011001	Guadalquivir	Natural	Bueno o muy bueno	R-T11	inv
Río Guadalquivir aguas abajo de la presa de Mengíbar hasta el embalse de Marmolejo	ES050MSPF011100087	Guadalquivir	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T17	inv
Río Guadalquivir aguas abajo del embalse Tranco de Beas hasta el río Cañamares	ES050MSPF011100104	Guadalquivir	Natural	Bueno o muy bueno	R-T09	inv
Río Guadiana Menor aguas abajo de la presa del Negratín hasta el río Fardes	ES050MSPF011100105	Guadalquivir	Muy modificado	Bueno o superior	R-T09	inv
Río Genil a su paso por Écija	ES050MSPF011100121	Guadalquivir	Natural	Peor que bueno	R-T07	inv
Río Guadiana-Gigüela	ES040MSPF000120390	Guadiana	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T05-HM	det
Río Guadiana VII	ES040MSPF000132180	Guadiana	Natural	Peor que bueno	R-T17	inv
Río Guadiana IV A	ES040MSPF00013353A	Guadiana	Natural	Peor que bueno	R-T16	det
Río Guadiana V A	ES040MSPF00013355A	Guadiana	Natural	Peor que bueno	R-T17	det
Río Zújar II	ES040MSPF000134230	Guadiana	Natural	Peor que bueno	R-T17	inv_det
Río Bullaque II B	ES040MSPF00014160B	Guadiana	Natural	Peor que bueno	R-T08	det
Río Mijares: canal cota 100 - azud Vila-real	ES080MSPF10-11A	Júcar	Muy modificado	Peor que bueno o superior	R-T09-HM	OTRAS
Río Palancia: embalse del Regajo - rambla Seca	ES080MSPF13-05	Júcar	Natural	Peor que bueno	R-T09	inv
Río Turia: arroyo de la Granolera - azud de Manises	ES080MSPF15-16	Júcar	Natural	Peor que bueno	R-T14	OTRAS
Río Júcar: río San Martín - embalse de Alarcón	ES080MSPF18-06B	Júcar	Natural	Peor que bueno	R-T12	OTRAS
Río Júcar: arroyo de Ledaña - Alcalá del Júcar	ES080MSPF18-16	Júcar	Natural	Peor que bueno	R-T16	det
Río Cabriel: Villatoya - Embalse de Embarcaderos	ES080MSPF18-21-01-10	Júcar	Natural	Peor que bueno	R-T16	inv
Río Júcar: río Magro - Albalat de la Ribera	ES080MSPF18-33	Júcar	Natural	Peor que bueno	R-T17	OTRAS
Río Cúa IV	ES425MAR001000	Miño-Sil	Natural	Peor que bueno	R-T28	SA
Río Cabrera II	ES433MAR001010	Miño-Sil	Natural	Peor que bueno	R-T31	SA
Río Cabe II	ES464MAR001711	Miño-Sil	Natural	Bueno o muy bueno	R-T31	OTRAS
Río Tea II	ES496MAR002220	Miño-Sil	Natural	Peor que bueno	R-T31	inv_tras
Río Limia III en O Toxal	ES510MAR002363	Miño-Sil	Muy modificado	Peor que bueno o superior	R-T31-HM	inv

Nombre	Código europeo (CE)	DH	Naturaleza	Estado ecológico	Tipo	Alteración
Río Alagón desde Embalse de Valdeobispo hasta Río Jerte	ES030MSPF0902021	Tajo	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T15-HM	det
Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador (Aranjuez)	ES030MSPF0102021	Tajo	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T16-HM	det
Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador (Aranjuez)	ES030MSPF0102021	Tajo	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T16-HM	det
Río Tajo desde su nacimiento hasta Arroyo Tajuelo	ES030MSPF0115110	Tajo	Natural	Bueno o muy bueno	R-T12	SA
Río Henares desde Río Dulce hasta Río Cañamares	ES030MSPF0308010	Tajo	Natural	Peor que bueno	R-T12	OTRAS
Río Manzanares a su paso por Madrid	ES030MSPF0427021	Tajo	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T15-HM	inv_tras
Río Gévalo desde Embalse del Río Gévalo hasta Embalse de La Grajera	ES030MSPF0610311	Tajo	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T08-HM	OTRAS
Río Algodor desde Embalse de El Castro hasta Río Tajo	ES030MSPF0622021	Tajo	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T05-HM	inv
Río Tiétar desde Arroyo Santa María hasta Embalse de Torrejón-Tiétar	ES030MSPF0702021	Tajo	Muy modificada	Peor que bueno o superior	R-T15-HM	OTRAS

4.2. Algoritmo de trabajo

En este epígrafe se detallará en que consiste el algoritmo de trabajo, así como cada una de las fases que lo componen.

4.2.1. Descripción general

El algoritmo de trabajo se planteó de acuerdo con los objetivos del trabajo, permitiendo: en primer lugar, identificar los principales déficits y oportunidades de mejora de los RCEmin (22-27), tanto intrínsecas como determinadas por las alteraciones hidrológicas específicas de la MSPF; y en segundo lugar, aplicar distintas metodologías de generación de escenarios de RCEmin de base hidrológica, evaluar resultados y establecer recomendaciones de aplicación.

Se desarrolla en dos partes diferenciadas:

- Búsqueda y recopilación de información general de la MSPF y componentes de los caudales ecológicos: Esto es, datos de interés, localización, series de caudales utilizadas y caracterización del RCE establecido en la MSPF.
- Aplicación de las fases:
 - FASE 1:** Se comprueba para cada mes si el RCEmin (22-27) es menor que el valor mínimo absoluto de la serie disponible en régimen natural.
 - FASE 2:** Se evalúa si la MSPF tiene alteración hidrológica y, en su caso, el tipo de alteración.
 - FASE 3:** Se simula una implementación del RCEmin (22-27) en la serie R_PRE para evaluar su capacidad potencial de producir mejoras en el régimen hidrológico.
 - FASE 4:** Si la disponibilidad de información lo permite, se analiza el periodo post implementación real del RCEmin para valorar su capacidad real para reducir la alteración del régimen hidrológico.
 - FASE 5:** Se generan escenarios de RCEmin (metodologías de base hidrológica) y, junto con el RCEmin (22-27), se ofrece al gestor un abanico de escenarios cuantificados y evaluados. Además, se simula la implementación de dos de los escenarios y se evalúa su efecto.

El algoritmo de trabajo está diseñado para que cuando el RCEmin (22-27) evaluado no pase de fase, no sea necesario continuar con la evaluación. Este criterio se sustenta en la hipótesis de que, si no se cumplen los criterios establecidos en la fase, su capacidad para mejorar el régimen hidrológico no es relevante y, por tanto, deben desarrollarse y analizarse otros escenarios para valorar si pueden sustituir al actualmente considerado.

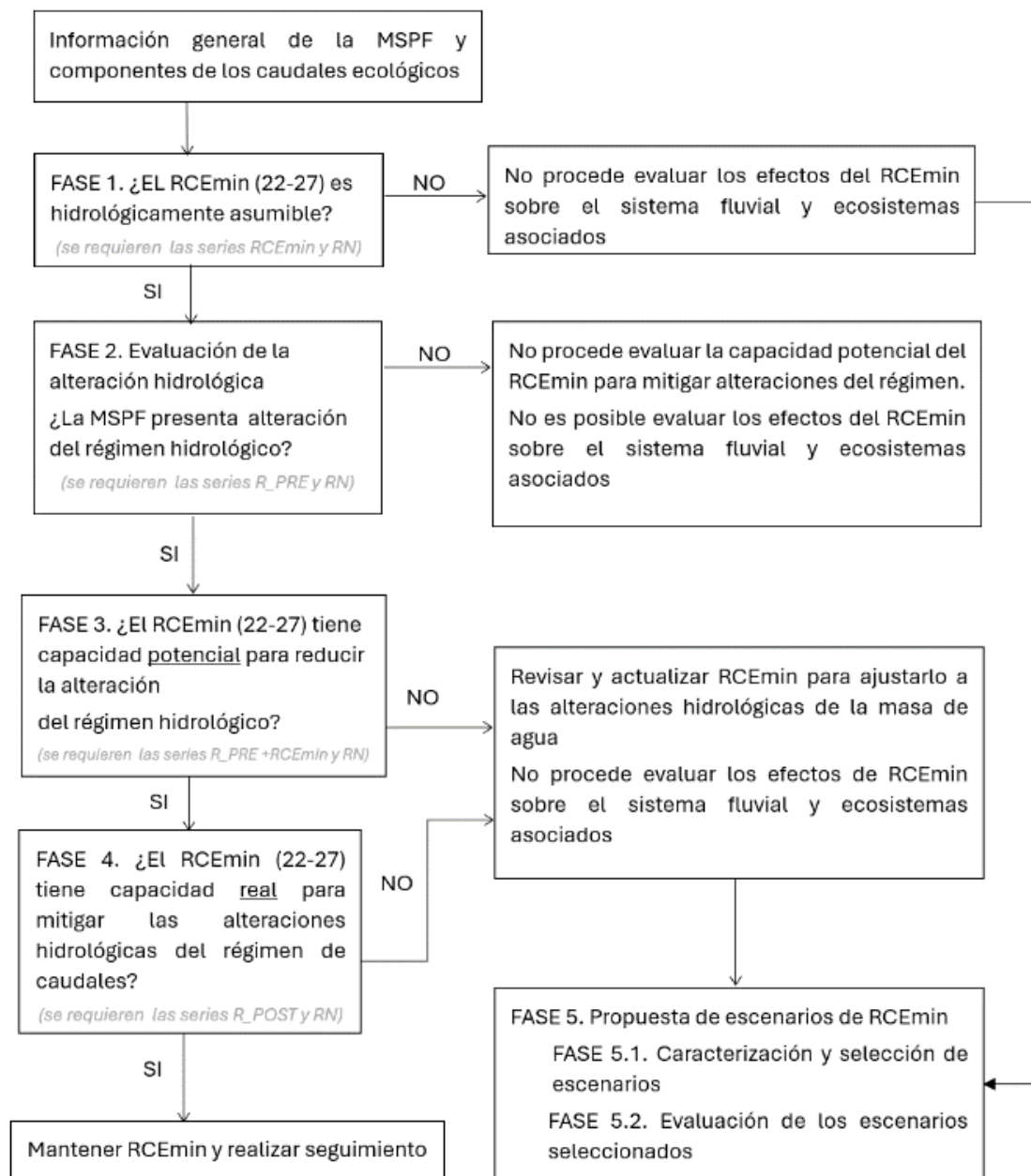


Figura 5. Síntesis del algoritmo de trabajo

Pese a ello, en este trabajo se desarrollarán todas y cada una de las fases (siempre que haya disponibilidad de datos) con el fin de obtener la mayor cantidad de información posible.

Los apartados que se observan en la *Figura 5* se explican con detalle en los siguientes epígrafes. De la aplicación del algoritmo resulta un informe para cada MSPF que se puede consultar en el ANEJO III.

4.2.2. Información general de la masa de agua superficial y componentes de caudales ecológicos

a. *Datos de interés*

En este primer apartado se realizó para cada MSPF, una búsqueda y recopilación de datos de interés que incluyó: nombre, código europeo, naturaleza, estado ecológico, tipología, demarcación hidrográfica, embalse (si lo hubiera), estación de aforos, fechas de aprobación de la Normativa y localización.

b. *Series de caudales utilizadas*

Además, se incorporó la información referente a las series de caudales utilizadas (3.3): fechas de inicio y fin, número de años disponibles (descargables en Anuario de aforos-CEDEX) y utilizados (coetáneos y completos), si se ha aplicado o no corrección por cuenca, el nivel de confianza global, y la fuente y localización de los datos.

El nivel de confianza global (NdC) se asignó para cada MSPF según el más restrictivo de los dos niveles de confianza parciales establecidos: la localización de los datos respecto al punto de estudio y el número de años completos y coetáneos (RN y R_PRE).

- Nivel de confianza parcial en cuanto al punto de estudio² (NdC_PE):
Para la gran mayoría de MSPF las series de caudales (*Tabla 2*) están localizadas en diferentes puntos del cauce. Normalmente el RCEmin y el RN obtenidos de los PHC vienen dados en el punto de cierre de la MSPF, mientras que el RReal (R_PRE y R_POST) y la serie R_PRE+RCEmin se sitúan siempre en la EA.

² La serie RReal es la única obtenida por medición directa en la EA, por esta razón se decidió establecer la EA representativa de cada MSPF como punto de estudio. De tal manera que, de ser necesario, las series a corregir serán RCEmin (22-27) y RN, evitándose así la modificación de las series localizadas en la EA, correspondientes a valores registrados, a diferencia de las series RN que son valores estimados con modelos hidrometeorológicos.

Se estableció que, en aquellos casos en los que la diferencia (%) de las superficies de las cuencas hidrográficas de los puntos (A) y (B) (Figura 6) sea mayor al 5%, es necesario realizar una corrección por cuenca de los datos de caudales medios o

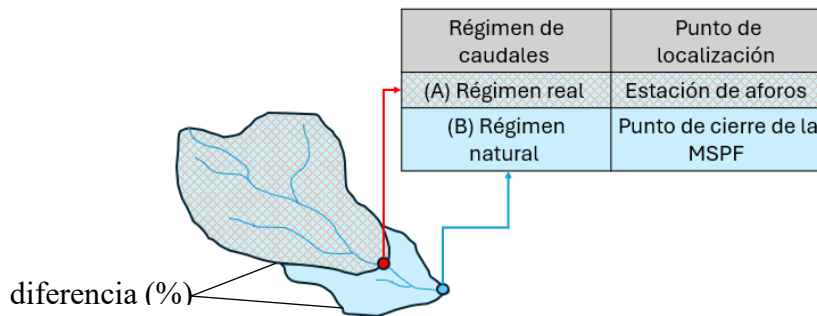


Figura 6. Ejemplo de localización de las series de caudales; $(diferencia\% = S(\%) = 100 * (\text{superficie azul}) / (\text{superficie rosada}))$.

aportaciones mensuales. Esta corrección se realiza utilizando el cociente entre la superficie de cuenca hidrográfica de la sección de cierre de la masa de agua y del punto de estudio (EA).

Tabla 4. Nivel de confianza parcial en función de S%

Nivel de confianza parcial (S%)	
25% > S%	ALTO
50% ≥ S% ≥ 25%	MEDIO
S% > 50%	BAJO

S%: % superficie de cuenca entre punto de estudio (EA) y punto de localización de RCEmin y RN

- Nivel de confianza parcial en cuanto a la disponibilidad de datos de caudales (NdC_D):

Las series RN y R_PRE, y por consiguiente R_PRE+RCEmin han de ser coetáneas, siendo la serie R_PRE y por tanto la disponibilidad de datos en la EA junto al último año hidrológico disponible en la serie RN (en los PHC vigentes correspondientes al 3^{er} ciclo, este año es: 2017/18) los factores que determinan el periodo utilizado.

Se trabajó con un periodo previo a la aprobación de la Normativa que establece por primera vez el RCE min para la MSPF (1^{er} ciclo, o en su defecto 2^o o 3^{er} ciclo). El año de inicio de la serie nunca será anterior a 1980/81.

Tabla 5. Nivel de confianza parcial en función de N°

Nivel de confianza parcial (N°)	
N° ≥ 20 años	ALTO
20 años > N° ≥ 15 años	MEDIO
15 años > N° ≥ 9 años	BAJO

N°: Número de años completos con datos

*En cuanto al número de años completos con datos (R_POST)³.

El nivel de confianza global para las MSPF seleccionadas ha sido “ALTO” en un 77% de la muestra (Figura 3), siendo menor en las DH Miño-Sil, Guadalquivir y Guadiana (Figura 8).

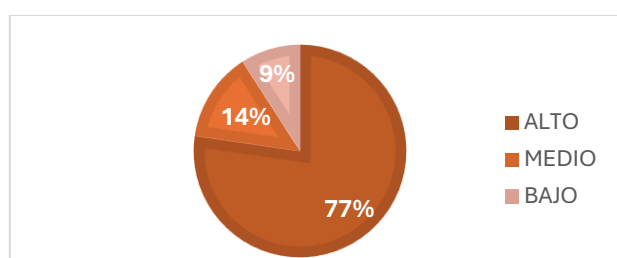


Figura 7. Porcentaje (%) de MSPF según el nivel de confianza global.

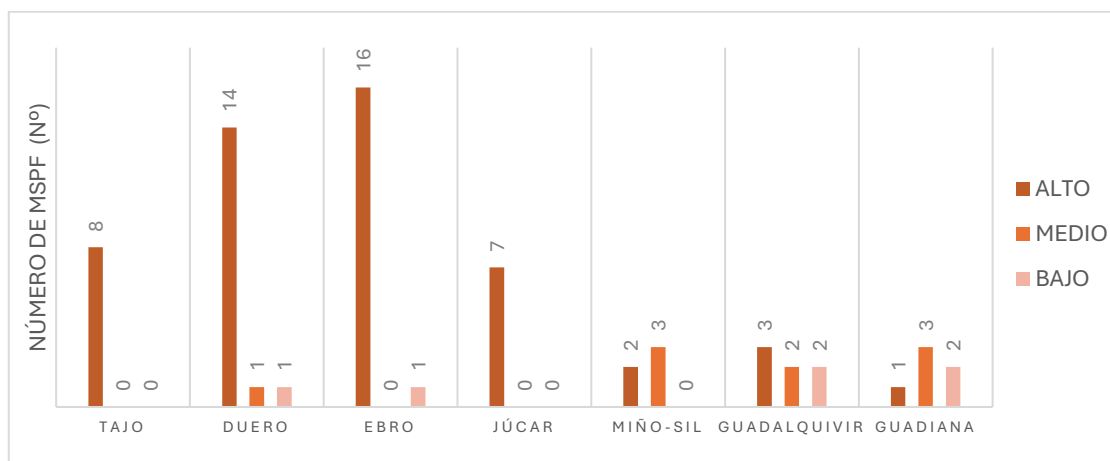


Figura 8. Número de MSPF según el nivel de confianza global en cada DH.

³ El nivel de confianza de los resultados del análisis de la serie R_POST se establece en función de su longitud, y por tanto de su capacidad para reflejar los ciclos hidrológicos húmedos y secos. Conviene recordar que se trabajó con un periodo posterior a la fecha de implementación del RCeMin o en su defecto por la fecha de publicación de la Normativa.

En el caso de R_POST la serie comprende, en el mejor de los casos, los años entre 2013 (aprobación del 1º ciclo de planificación hidrológica en algunas DH) y 2020. Con el fin de poder obtener resultados para este periodo, se decidió añadir la categoría de NdC “MUY BAJO” cuando haya entre 7 u 8 años de años completos con datos disponibles.

c. Caracterización del RCE establecido en la MSPF

Pese a no ser utilizada en las fases posteriores se consideró necesaria la inclusión de información referente a las cinco componentes de los caudales ecológicos, de tal manera que para cada masa de agua se consultó cuáles están definidas en la Normativa de cada uno de los tres ciclos. Esta información es relevante para el conocimiento del estado actual de los caudales ecológicos tanto a nivel de MSPF como de DH.

Se consultaron en la Memoria de los PHC los métodos hidrológicos o de simulación de hábitats utilizados para la definición del RCEmin (22-27), así como la descripción de estos. Esta información solo se pudo obtener en aquellas demarcaciones en cuyos PHC aparece esta información por MSPF.

Para poder evaluar el RCEmin (22-27) se consultaron los valores en la Normativa del tercer ciclo. En caso de MSPF inmediatamente aguas abajo de un embalse, si se dispone de ambos RCEmin (desembalse y punto de cierre de la MSPSF) se selecciona el RCEmin (22-27) localizado en el punto más cercano al punto de estudio. En algunos casos el RCEmin (22-27) puede venir dado en el punto de estudio (EA).

A continuación, se detallan dos consideraciones:

-En algunos casos singulares en los que el punto de estudio (EA) se ubica cerca del punto de inicio de la MSPF, los valores de RCEmin (22-27) a evaluar serán las correspondientes a la sección de cierre de la masa inmediatamente superior. Si en ese punto confluyen varias MSPF, se sumarán los RCEmin (22-27) de las MSPF anteriores que confluyan en dicho punto.

-Es necesario comprobar si, en caso de estar definidos, los valores del RCEmin de los PHC anteriores están dentro del rango $0,75 \cdot RCEmin (22-27) - 1,25 \cdot RCEmin (22-27)$. Si todos los valores mensuales están dentro del rango se considera que la variación del RCEmin no es significativa, por lo que se asume que el RCEmin (22-27) se ha aplicado durante toda la serie R_POST, es decir, la evaluación del RCEmin (22-27) es concluyente para los tres ciclos de planificación hidrológica. Sin embargo, cuando en alguno de los PHC anteriores los valores de uno o más meses se encuentran fuera de este rango, la serie R_POST correspondiente al RCEmin (22-27) no incluye los años de vigencia de ese PHC.

4.2.3. Caracterización por fases

FASE 1. ¿El régimen de caudales ecológicos mínimo es hidrológicamente asumible?

Esta primera fase consiste en comprobar para cada mes del año, si los valores de caudales ecológicos mínimos están o no por encima de los valores mínimos absolutos y del percentil de excedencia del 95 % del régimen natural. Se parte de la base de que no procede evaluar el efecto de un RCEmin que presenta unos caudales que de manera objetiva no son hidrológicamente asumibles⁴.

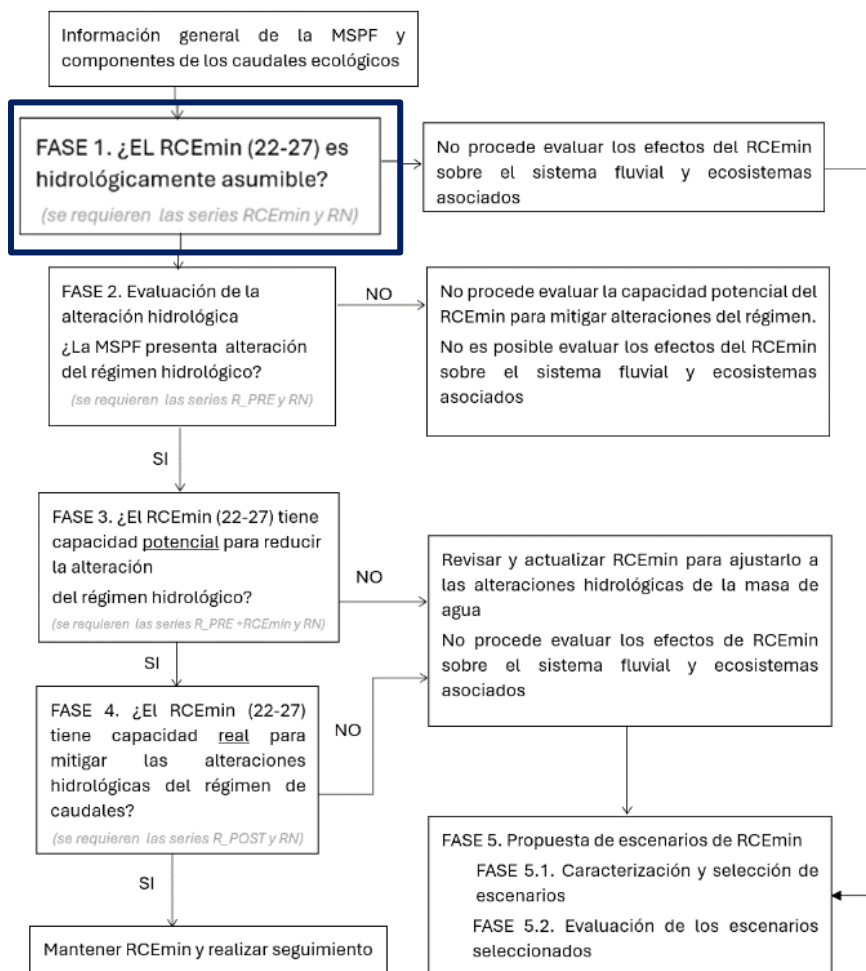


Figura 9. Situación de la FASE 1 en el algoritmo de trabajo.

⁴ Que no sean hidrológicamente asumibles sólo los valora desde ese punto de vista. Pueden presentarse otros condicionantes, ajenos a lo hidrológico, que justifiquen o respalden esos valores. Desde el punto de vista hidrológico, y lo que eso representa en cuanto a la integridad del ecosistema fluvial, es fácil aceptar que un RCEmin no debería presentar valores inferiores a los mínimos absolutos que se recogen en la serie en RN que corresponde a la masa de agua.

Los criterios que se han aplicado para esta valoración se han definido con el fin de que sean fáciles de aplicar, y, por tanto, ligados a umbrales con una clara vinculación ambiental o legal. Se ha optado por una evaluación a nivel mensual para evitar compensaciones a nivel anual entre meses con muy distinto comportamiento.

- El número de meses en los que el RCEmin (22-27) es menor o igual al valor mínimo absoluto en RN del caudal medio mensual del mes i para la serie utilizada (RNmin), ¿es igual o mayor que 3?

Cuando esto ocurre, se asume que el RCEmin (22-27) no es hidrológicamente asumible, y se debe generar un nuevo RCEmin. De lo contrario se realiza una segunda comprobación.

- El número de meses en los que el RCEmin (22-27) es menor o igual al valor en RN del percentil de excedencia del 95% (RN_P95) del caudal medio mensual del mes i para la serie utilizada, ¿es igual o mayor que 6?

Cuando esto ocurra, se ha de comprobar si el RCEmin (22-27) se ha definido con métodos de simulación de hábitats. De ser así, se pasa a la siguiente fase, en la que se realiza una valoración más detallada. De lo contrario se asume que el RCEmin (22-27) no es hidrológicamente asumible, y se debe generar un nuevo RCEmin.

En la *Figura 10* se muestra de manera gráfica la comprobación realizada en esta fase, obteniéndose para este ejemplo que el RCEmin solo sería superior al RNmin en los meses de agosto y septiembre. Mientras que solo superaría el RN_P95 en el mes de septiembre.

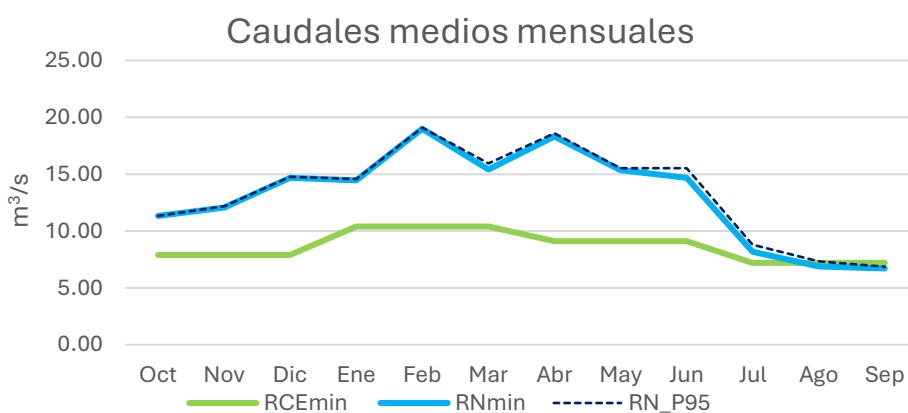
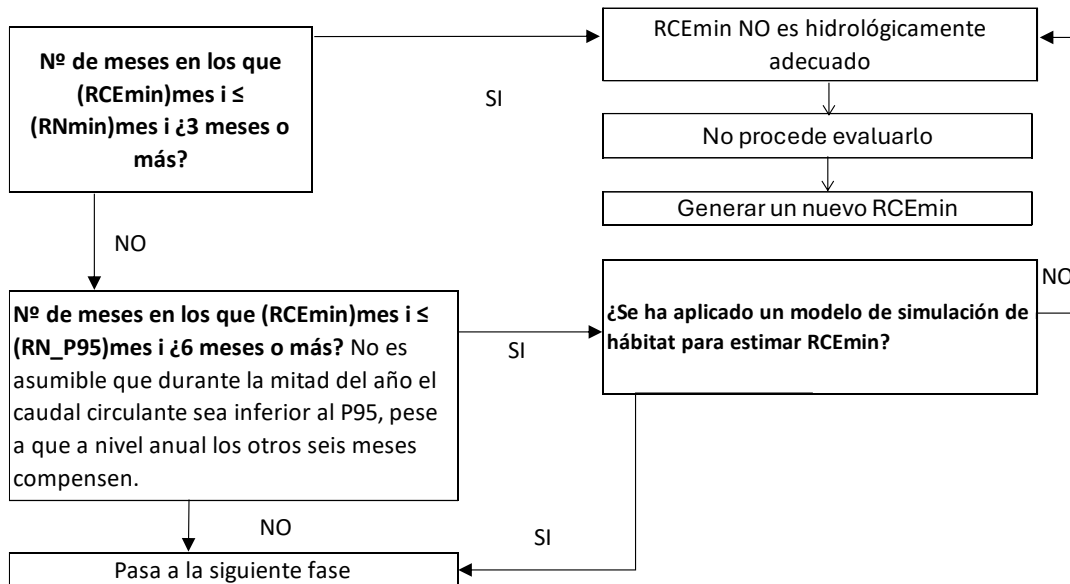


Figura 10. Ejemplo de aplicación de la FASE 1 en la MSPF “Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador” (ES030MSPF0102021), con EA “3258”.

Consideraciones respecto al P95:

-La segunda comprobación se hace con el umbral RN_P95, ya que se corresponde con el umbral inferior del rango recomendado por la IPH (percentiles de no excedencia de 5% y 15%). No es asumible que durante la mitad del año el caudal circulante sea inferior al RN_P95, pese a que a nivel anual los otros seis meses compensen.

-La estimación del P95 poblacional a partir de una muestra [Weibull: Percentil de excedencia población= n° orden en muestra / (n° años muestra + 1), ordenados de mayor a menor] requiere de, al menos, 19 años. Cuando la serie tiene entre 9 y 18 años, se calcula el P90 con Weibull, y se estima el P95 haciendo una interpolación lineal entre el caudal correspondiente al P90 y el mínimo.



RN=Régimen natural; (RNmin)mes i =Valor mínimo en RN del caudal medio mensual del mes i para la serie disponible. (RN_P95) mes i=Percentil de excedencia del 95% del caudal medio mensual del mes i para la serie disponible.

Figura 11. Síntesis de la FASE 1.

FASE 2. Evaluación de la alteración

En esta fase se comprueba a nivel mensual si existe alteración hidrológica en la masa de agua, y de existir, se caracteriza el tipo de alteración.

Es fundamental realizar este paso, ya que, en función de: cuál es el tipo de alteración hidrológica, si la alteración es de naturaleza no hidrológica, o bien si es inexistente; puede darse que los caudales ecológicos mínimos no puedan contribuir a alcanzar el buen estado o buen potencial en dicha masa de agua.

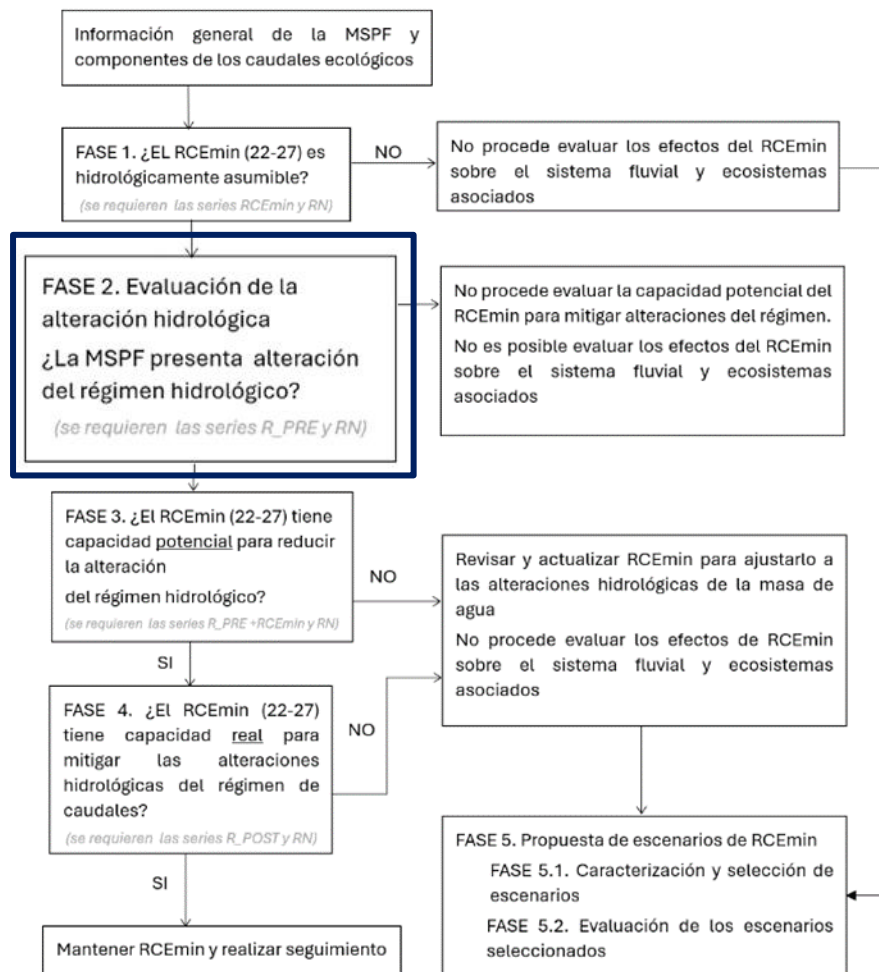


Figura 12. Situación de la FASE 2 en el algoritmo de trabajo.

Consideraciones previas a tener en cuenta a partir de esta fase:

-Los valores de caudales medios mensuales de las series utilizadas, son los correspondientes al P90. Se optó por elegir este percentil de excedencia por dos razones: La primera, es que al ser el objeto de este trabajo el RCEmin, lo lógico es que toda evaluación y valoración se haga sobre percentiles de excedencia altos, ya que serán los caudales de este rango los que el RCEmin tendrá oportunidad de modificar; la segunda, es que el P90 es un valor intermedio dentro del intervalo que se define en la IPH.

-La estimación del P90 poblacional a partir de una muestra [Weibull: Percentil de excedencia población = n° orden en muestra / (n° años muestra + 1), ordenados de mayor a menor] requiere de, al menos, 9 años. En caso de no alcanzar el número de años necesarios en R_PRE, no se pueden realizar las fases 2,3 y 5.

-Se estableció un rango para la evaluación de la alteración que comprende los valores entre $1,5 \cdot RN_{P90}$ y el máximo de $(0,5 \cdot RN_{P90}; RN_{min})$. Es decir, la variación del

50% respecto al RN_P90, que puede considerarse como el "estado" de referencia. La definición de este rango se hizo en base los valores de los límites de cambio de clase de estado de los elementos de calidad biológicos correspondientes al umbral *Bueno/Moderado* (Anexo 2 del R.D. 817/2015). El valor mediano más bajo de ese umbral corresponde al IBMWP y está por encima del 50% del valor de referencia.

Descripción de la FASE 2:

En esta segunda fase se trabajó con la serie R_PRE. Si esa serie no está disponible, o no es adecuada, no es posible evaluar si el régimen real requiere la activación del RCEmin (22-27). Se ha de disponer de una serie con registros del régimen real con, al menos, 9 años completos, aunque lo deseable es que tenga 20 o más (NdC "ALTO"). En este trabajo, todas las MSPF seleccionadas tienen disponibilidad de datos de al menos 9 años completos y coetáneos con el RN.

- Para verificar si la alteración hidrológica es o no baja, se comprueba si hay al menos 10 meses dentro del rango para la evaluación de la alteración.

Si el número de meses dentro del rango es 10 o más, se considera que la alteración del régimen hidrológico es baja, y que, por lo tanto, no procede evaluar la capacidad del RCEmin (22-27) para reducir la alteración. En caso, contrario se pasa a la FASE 3.

En la *Figura 13* se muestra de manera gráfica la alteración existente en este ejemplo, obteniéndose que no hay ningún mes dentro del rango para evaluar la alteración hidrológica.

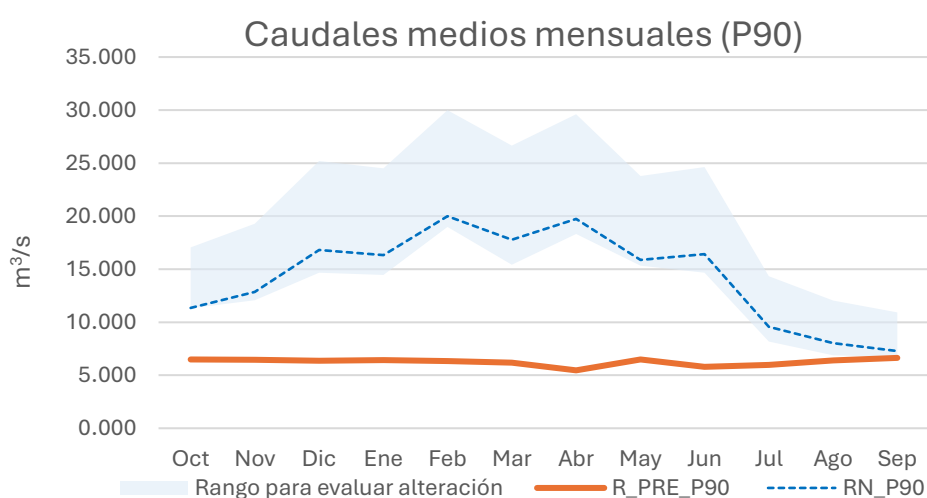


Figura 13. Ejemplo de aplicación de la FASE 2 en la MSPF "Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador" (ES030MSPF0102021), con EA "3258".

*Se consideró pertinente añadir una caracterización del tipo de alteración en el informe de cada MSPF tras los resultados de la aplicación de la FASE 2. Para ello, se utilizó el percentil de excedencia del 50% por ser más representativo del régimen de caudales, y se definió un indicador “I” calculado como el cociente R_PRE_P50/RN_P50 para valores de caudales medios mensuales y de aportación anual. En la *Tabla 6* se detallan los umbrales del indicador y las categorías de tipo de alteración asociadas que se han utilizado.

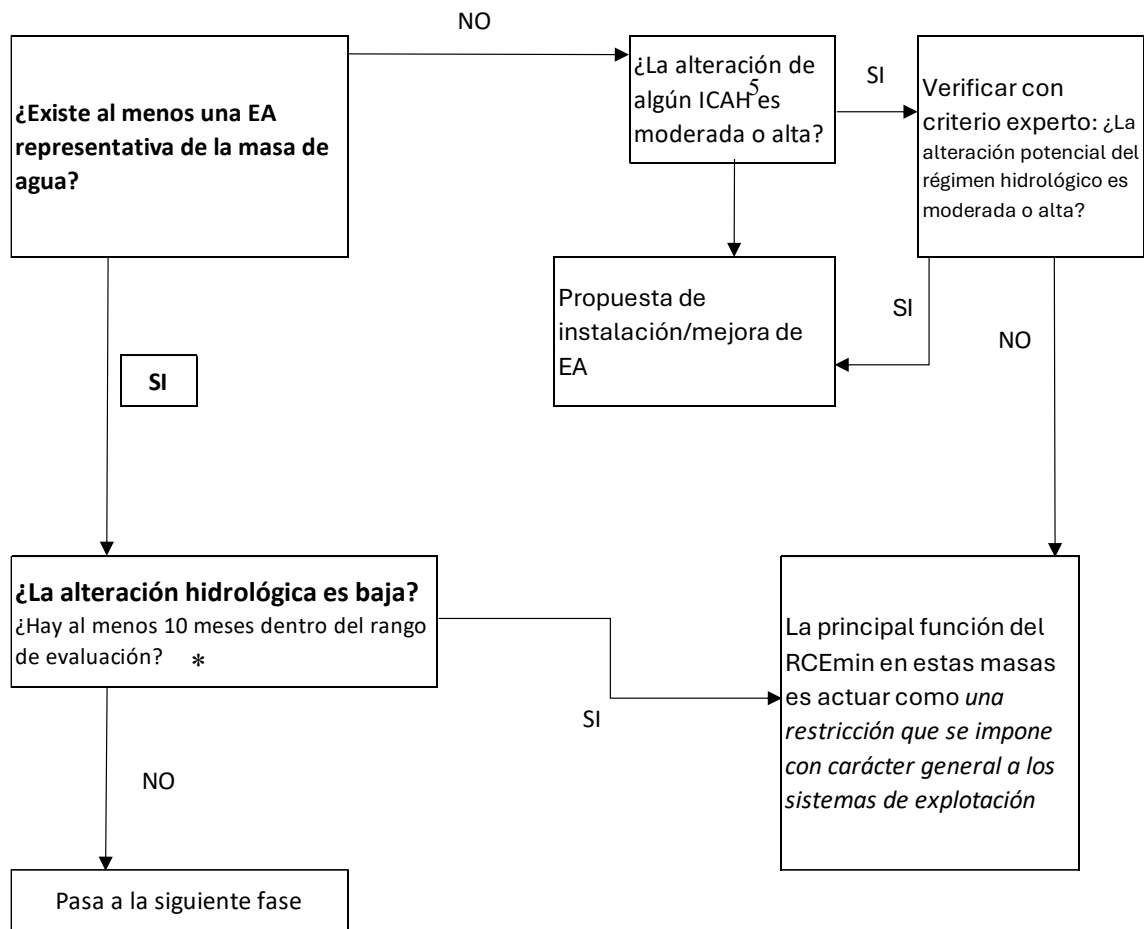


Figura 14. Síntesis de la FASE 2.

⁵ Los ICAH son los Índices de Alteración de Caudales Hidrológicos. Estos índices evalúan el efecto de las obras hidráulicas, como embalses, en el régimen de caudales de los ríos. Hay tres tipos de ICAH:

ICAH 1: Relativo a la alteración de las aportaciones de agua.

ICAH 2: Relativo a la laminación de las avenidas.

ICAH 3: Alteración causada por infraestructuras con menor capacidad de almacenamiento (hidrópicos).

(Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019)

Tabla 6. Caracterización del tipo de alteración.

(Promedio de "I" en Jun, Jul y Ago) $\geq 1,5$ "I" ApAnual $\leq 0,5$ "I" ApAnual $\leq 1,5$	Inversión Detracción Trasvase/Aportaciones
$1,1 < (\text{Promedio de "I" en Jun, Jul y Ago}) < 1,5$ $0,5 < \text{"I" ApAnual} < 0,9$	Otras alteraciones

FASE 3. Capacidad potencial del RCEmin (22-27) para mitigar la alteración

En esta fase se comprueba mediante una simulación si, la implementación de los caudales ecológicos mínimos en los años previos a su establecimiento en la Normativa hubiese mitigado la alteración hidrológica, o de lo contrario, no hubiese supuesto un efecto apreciable.

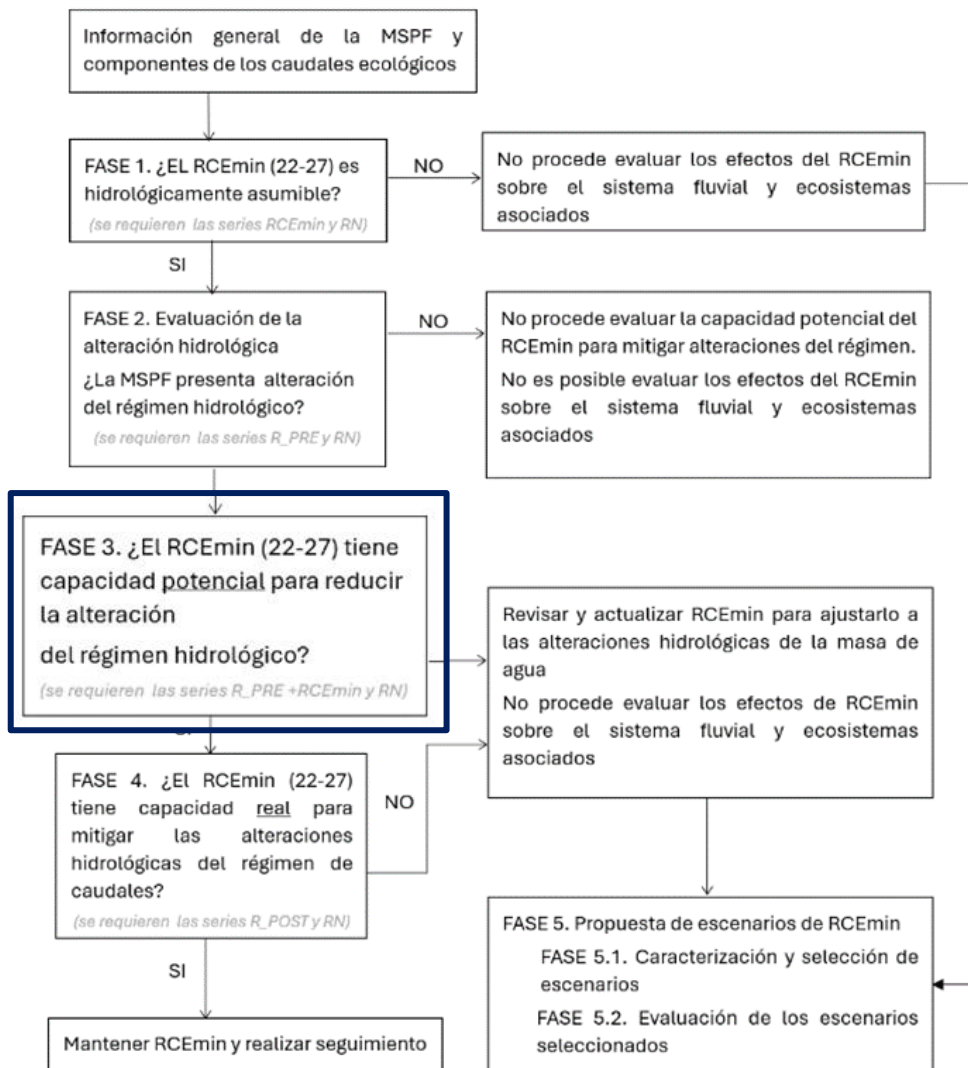


Figura 15. Situación de la FASE 3 en el algoritmo de trabajo.

Se evalúa la capacidad potencial del RCEmin (22-27) para reducir la alteración hidrológica, mediante una comparativa de la serie R_PRE+RCEmin con los datos de caudales originales medidos en la estación de aforos (R_PRE). Conviene recordar que esa valoración se ha hecho asumiendo una implementación teórica del RCEmin (22-27).

Sobre R_PRE se genera a nivel diario la serie R_PRE+RCEmin. Para esta tarea, se desarrolló una macro utilizando Excel.

-En primer lugar, se seleccionan los años completos, es decir, aquellos en los que se ha registrado un valor de caudal para cada día del año.

-En segundo lugar, se genera una tabla dinámica con los caudales medios mensuales para cada año hidrológico (R_PRE), y otra con el número de días absoluto y promedio que se implementa el RCEmin (22-27) por mes.

-Después se introducen los valores del RCEmin (22-27) y se actualizan ambas tablas dinámicas obteniendo la serie de caudales con el RCEmin (22-27) implementado. Si el valor del caudal registrado ese día es menor que el RCEmin (22-27), entonces este valor se sustituye por el RCEmin (22-27).

Se produce un cambio significativo (Δ) al implementar el RCEmin cuando el valor del caudal medio mensual para un mes fuera del rango para evaluar la alteración en la serie R_PRE (definido en la FASE 2), pasa a estar dentro del rango en la serie R_PRE+RCEmin.

Los criterios definidos para verificar si el RCEmin (22-27) tiene capacidad potencial para reducir la alteración son:

- ¿Hay cambio significativo (Δ) en al menos 3 meses?

De ser así se pasa a la FASE 4. Es posible que el número de meses con cambio significativo no llegue a tres, pero que el RCEmin (22-27) se haya aplicado durante un número importante de días, generando así una mejora del régimen. Para tener en cuenta esta circunstancia se plantea este otro criterio adicional.

- ¿El número medio de días al año en los que ha sido necesario implementar el RCEmin (22-27) es mayor o igual a 90 días?

Cuando la respuesta a esta pregunta es “NO”, entonces se asume que el RCEmin (22-27) no tiene capacidad potencial para tener un efecto significativo sobre el medio fluvial, los ecosistemas acuáticos y ribereños que sustenta, y las zonas protegidas. Sin embargo, cuando ha habido implementación en 90 días o más se hace una última comprobación.

- ¿Hay cambio significativo (Δ) en al menos 2 meses?

De ser así se pasa a la FASE 4. De lo contrario, igual que en el caso anterior, se asume que el RCEmin (22-27) no tiene capacidad potencial para tener un efecto significativo.

En la *Figura 16* se muestra gráficamente si existe cambio significativo al implementar el RCEmin (22-27), en este caso solo tiene capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica en los meses de agosto y septiembre.

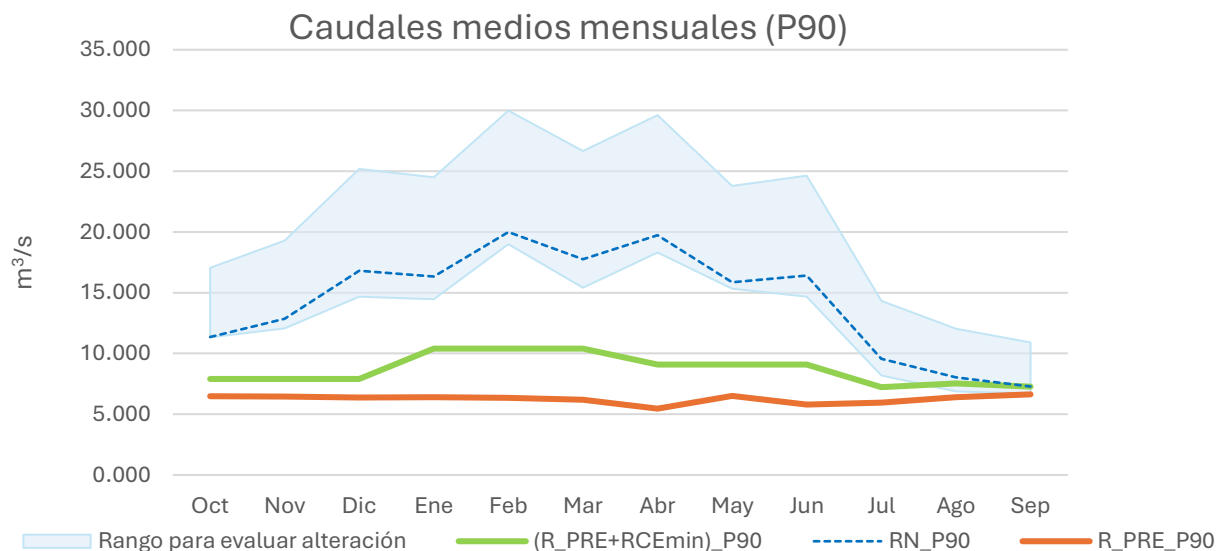


Figura 16. Ejemplo de aplicación de la FASE 3 en la MSPF “Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador” (ES030MSPF0102021), con EA “3258”.

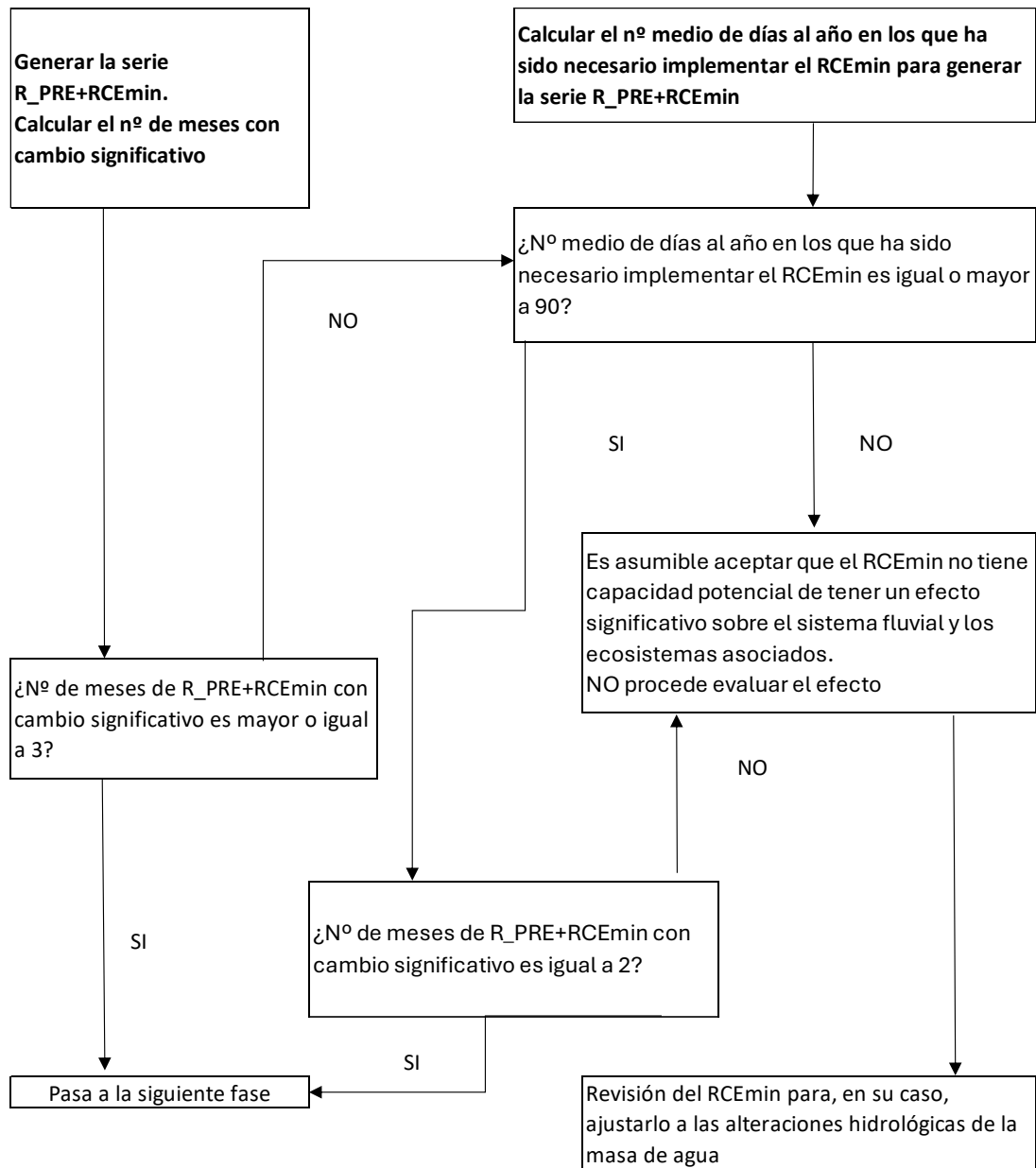


Figura 17. Síntesis de la FASE 3.

FASE 4. Capacidad real del RCEmin (22-27) para mitigar la alteración

En esta fase se comprueba si, durante los años en los que se han implementado los caudales ecológicos mínimos en los años posteriores a su establecimiento en la Normativa se ha mitigado la alteración hidrológica, o de lo contrario, no existe un efecto apreciable.

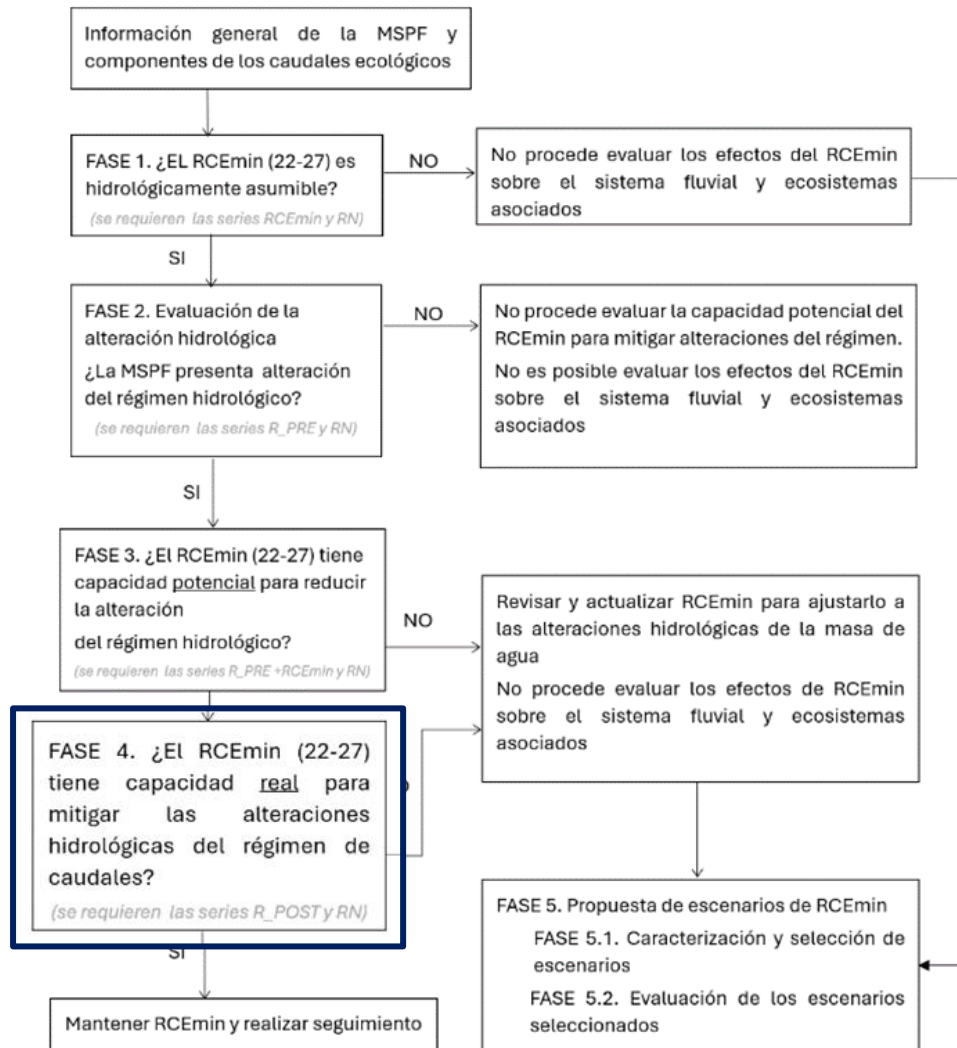


Figura 18. Situación de la FASE 4 en el algoritmo de trabajo.

Se evalúa, utilizando la serie R_POST, la capacidad real del RCEmin (22-27) para mitigar la alteración. Como ya se ha mencionado con anterioridad, en la fecha en la que se está realizando este trabajo, en el mejor de los casos se dispone de un total de 7 años completos en la serie R_POST (Ndc “MUY BAJO”), siempre y cuando la variación de los valores del RCEmin entre cada PHC no sea significativa.

Estos años están comprendidos entre 2013 (aprobación del 1^{er} ciclo de planificación hidrológica en algunas DH) y 2020 (último año disponible en el Anuario de aforos-CEDEX). Este número de años (7) no permite el cálculo del P90 (se necesitan al menos 9), por lo que no se podrá realizar la FASE 4 al completo.

Pese a esto, se ha considerado conveniente incluir en este trabajo todos los criterios establecidos de cara a futuras investigaciones, ya que la disponibilidad de la serie R_POST alcanzará un mayor número de años en el momento en que se actualicen los datos en el Anuario de aforos.

Por las razones expuestas, el protocolo a seguir en esta fase es función del NdC y por tanto de la longitud de la serie disponible en R_POST.

-Si hay 7-14 años en la serie R_POST se hacen las siguientes comprobaciones teniendo en cuenta que el NdC es “BAJO o MUY BAJO”:

- Se analiza la serie R_POST identificando los días en los que es plausible que el RCEmin (22-27) se haya activado. Criterio de activación: Se asume que se ha activado el RCEmin (22-27) cuando:

$$0,75 \cdot RCEmin \leq \text{caudal medio diario} \leq 1,25 \cdot RCEmin$$

1. ¿El número medio de días al año en los que es asumible que se ha implementado el RCEmin (22-27) es menor o igual a 90?

- Se analiza la serie R_POST identificando los días en los que es plausible que exista un fallo en el cumplimiento del RCEmin (22-27). Criterio de fallo: Se asume que se ha incumplido el día evaluado cuando:

$$\text{caudal medio diario} \leq 0,75 \cdot RCEmin$$

2. ¿El número medio de días al año en los que es asumible que exista un fallo en el cumplimiento del RCEmin (22-27) es mayor o igual a 90?

Se establece un margen del 25% para la definición de ambos criterios, ya que la incorporación a la masa de agua de caudales ecológicos mínimos no siempre puede hacerse con la precisión que establece la cifra que ofrece la normativa.

Cuando la respuesta a alguna de las dos cuestiones planteadas (1-2) es “SI”, es asumible aceptar que el RCEmin (22-27) no tiene capacidad real de tener un efecto significativo, por lo que no procede evaluar el efecto y se pasa a la FASE 5. Mientras

que, si la respuesta a ambas cuestiones (1-2) es “NO”, se deberá plantear si la implementación ha tenido los efectos deseados*.

-Si hay 15 años o más en la serie R_POST se hacen las mismas comprobaciones iniciales teniendo en cuenta que el NdC es “MEDIO o ALTO”. Sin embargo, en caso de que la respuesta a ambas cuestiones (1-2) sea “NO”, se realiza otra comprobación:

- Comparación de R_POST con R_PRE. Se verifica si en la serie R_POST, el número de meses dentro del rango para la evaluación de la alteración es mayor que en la serie R_PRE. Es decir, se calcula el número de meses en los que hay cambio significativo (Δ). Se deberá plantear si la implementación ha tenido los efectos deseados*.

En esta comparación e interpretación de los resultados se ha de tener en cuenta “el posible ruido generado por la no coetaneidad de las series, así como por su diferencia de longitud.

* Una vez demostrada la capacidad real del RCEmin (22-27) para reducir la alteración hidrológica se ha de plantear cuales son los efectos sobre el sistema fluvial y los ecosistemas asociados, y si son los deseados. Para ello habrá que identificar los elementos de calidad que potencialmente pueden verse beneficiados de la implementación. Este planteamiento no se incluye en este trabajo, ya que como se ha explicado la disponibilidad de datos de R_POST es reducida. Sin embargo, se ha de tener en cuenta que en aquellas MSPF en las que se supere la FASE 4 no se podrá afirmar que el RCEmin (22-27) se adecúa a la MSPF sin haber abordado esta cuestión.

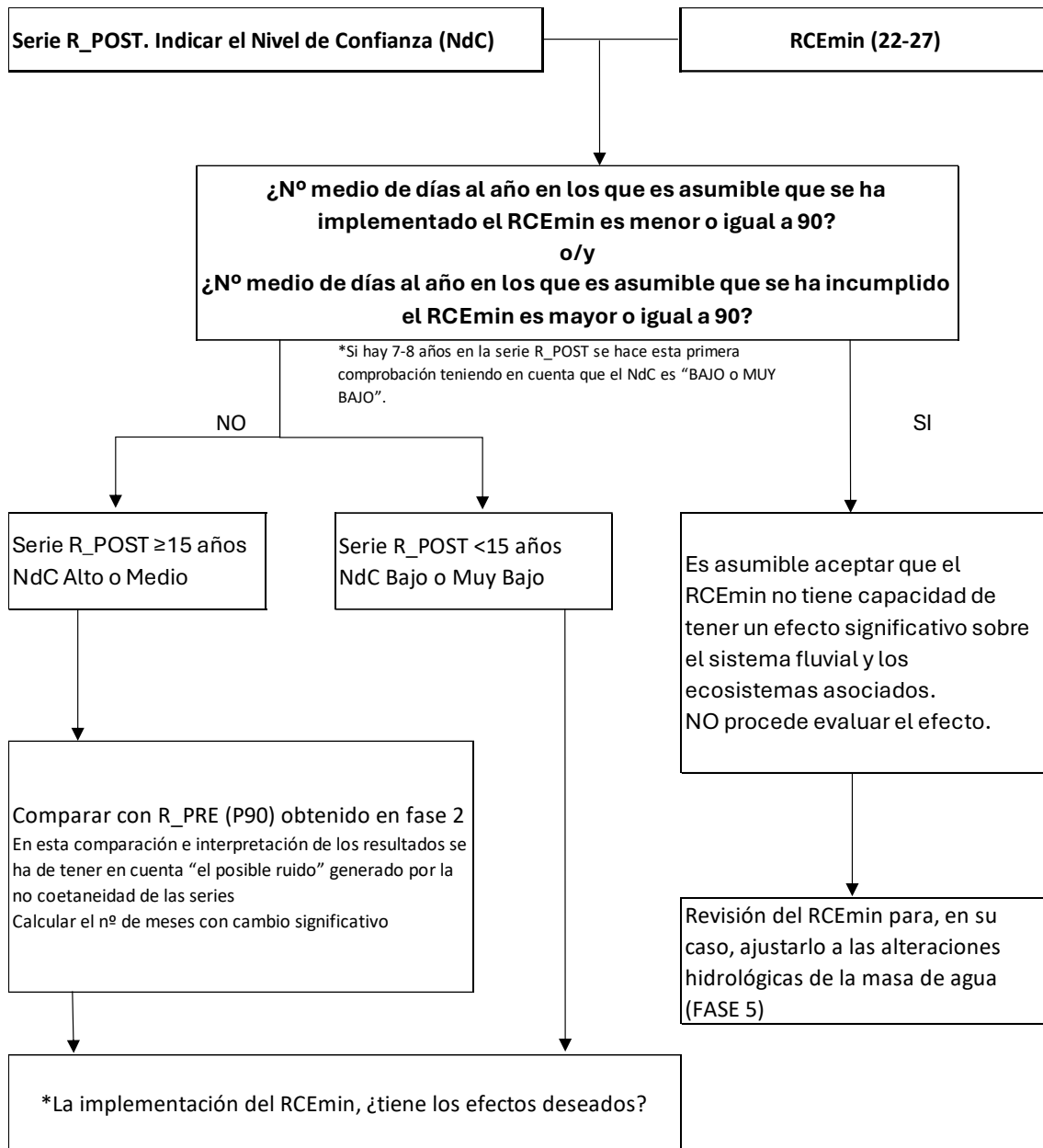


Figura 19. Síntesis de la FASE 4.

FASE 5. Propuesta de nuevo escenario de RCEmin

El objetivo de esta fase es proponer nuevos escenarios de caudales ecológicos mínimos y comprobar si su implementación mitigaría la alteración hidrológica, de tal manera que el gestor pueda seleccionar aquellos escenarios que mejor se adecuen a la realidad de la masa de agua.

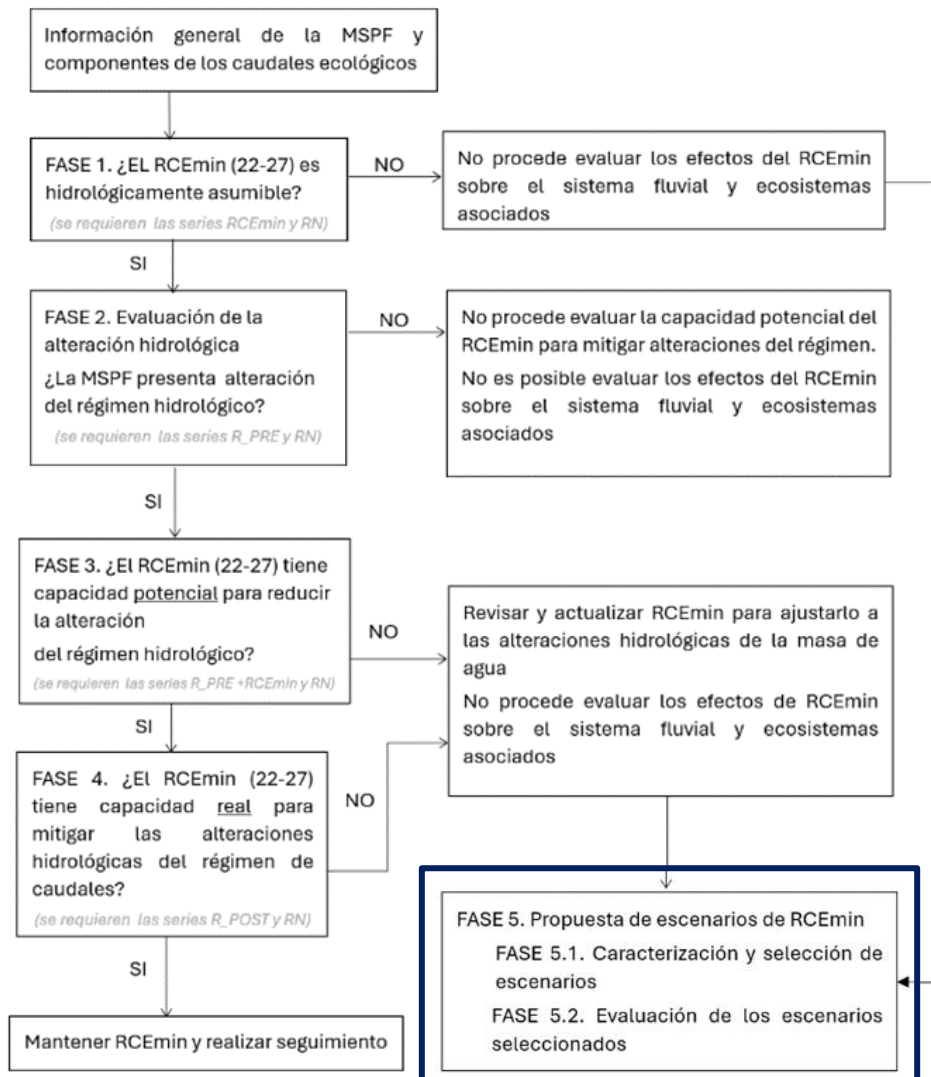


Figura 20. Situación de la FASE 5 en el algoritmo de trabajo.

Esta última fase del algoritmo de trabajo se ha realizado para todas las MSPF seleccionadas independientemente de los resultados de las fases anteriores. Se ha dividido en dos partes o subfases.

FASE 5.1 Caracterización y selección de escenarios de RCEmin

En esta fase se generan escenarios de caudales ecológicos mínimos mediante métodos hidrológicos (3.4), se seleccionan y se evalúan dos de ellos.

Esta fase se aborda con el objetivo de ofrecer al gestor información objetiva y homogénea sobre las características de los escenarios generados, información que le sirva como apoyo para la toma de decisiones que, más que probablemente, estarán condicionadas por otros muchos aspectos ajenos a las cualidades hidrológicas aquí evaluadas. Se calcularon un total de once escenarios de RCEmin (3.4) a partir de la serie RN. Para la caracterización de estos según su aproximación al RN se han utilizado tres indicadores. Estos son: la magnitud, estacionalidad y variabilidad del régimen hidrológico. En base a estos indicadores se obtuvo la puntuación, la demanda ambiental y la eficiencia de cada método (*Fernández Yuste et al., 2022*).





- Puntuación: Evalúa la calidad del escenario en estacionalidad, magnitud y variabilidad de las aportaciones mensuales, comparándolo con el régimen natural.
- Demanda Ambiental (Damb): Aportación anual del escenario de RCEmin considerado/Aportación anual media del RN.
- Eficiencia: Puntuación/Aportación anual del escenario. Su valor indica el número de puntos que se consigue con cada hm³ del escenario.

De todos los métodos se seleccionan dos de ellos en base a su Damb y eficiencia. Como se ha señalado anteriormente, en esta fase no se trata de indicarle al gestor qué escenario es el más adecuado para las características y condicionantes de la masa de agua. Sin embargo, ha parecido oportuno ofrecerle una selección, dos escenarios, sin tener en cuenta más información que su eficiencia.

Para esa selección, se escoge uno cuya aportación sea inferior o igual a la correspondiente al P85RN (recuérdese que ese percentil es el superior recomendado en la Normativa), y otro entre ese umbral y el P75RN, teniendo, por tanto, una aportación ligeramente superior a la máxima recomendada en la IPH (*Tabla 7*).

Tabla 7. Ejemplo de aplicación de la FASE 5.1 en la MSPF “Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador” (ES030MSPF0102021), con EA “3258”.

MÉTODOS	Puntuación	Demanda ambiental	Eficiencia
TENNANT	-75	0.300	-0.299
TESSMAN	-60	0.471	-0.152
VMF	-29	0.337	-0.103
NMTM-P90	45	0.539	0.100
NTMN_FAIR	56	0.571	0.117
NMTM-GOOD	66	0.602	0.131
NMTM-EXCELLENT	83	0.633	0.157
ADMM	42	0.529	0.095
IAHRIS-P80	58	0.590	0.118
IAHRIS-P85	53	0.570	0.111
IAHRIS-P90	58	0.556	0.125
RCEmin (22-27)	-73	0.326	-0.268
R_PRE_P50	-56	0.294	-0.228

-  Métodos entre Damb APminRN y P85RN
-  Métodos entre Damb P85RN y P75RN
-  Método con mayor eficiencia entre Damb APminRN y P85RN
-  Método con mayor eficiencia entre Damb P85RN y P75RN

Se entiende que es conveniente que el gestor conozca con detalle estos escenarios para que los contemple en sus evaluaciones cuando integre otras consideraciones, limitaciones y oportunidades.

FASE 5.2. Evaluación de los escenarios seleccionados

En esta fase se comprueba mediante una simulación si, la implementación de los escenarios de caudales ecológicos mínimos seleccionados en los años previos a su establecimiento en la Normativa hubiese mitigado la alteración hidrológica, o de lo contrario, no hubiese supuesto un efecto apreciable.

El objetivo de esta fase es analizar el efecto sobre el régimen hidrológico de la serie R_PRE que hubiesen tenido cada uno de los regímenes seleccionados de haberse aplicado de manera sistemática.

Una vez seleccionados los dos escenarios se procedió a realizar una implementación teórica de los mismos en la serie R_PRE. Para esta tarea se hizo uso de la macro diseñada para generar series de caudales diarios implementados (cuyo funcionamiento se describe en la FASE 3), introduciendo los valores de los escenarios RCEsel (1) y RCEsel (2). De esta manera se obtuvieron las series: R_PRE+RCEsel (1) y R_PRE+RCEsel (2).

Para cada una de ellas:

- Se verifica si el número de meses dentro del rango para la evaluación de la alteración es mayor que en las series R_PRE. Es decir, se calcula el número de meses en los que hay cambio significativo (Δ). Cuando este número de meses es mayor que 0 se puede asumir que los escenarios que se proponen tienen capacidad potencial para reducir la alteración.
- Se verifica si el cambio significativo (Δ) que se consigue, es mayor que en la serie R_PRE+RCEmin. Cuando esto sucede, se demuestra que el escenario seleccionado e implementado tiene una mayor capacidad para reducir la alternación hidrológica que el RCEmin (22-27).
- Se calcula el porcentaje (%) de variación de la Damb del escenario evaluado sin implementar respecto del RCEmin (22-27). Este valor ayuda a interpretar si se necesita un volumen de agua significativamente mayor que el que exige el RCEmin (22-27).

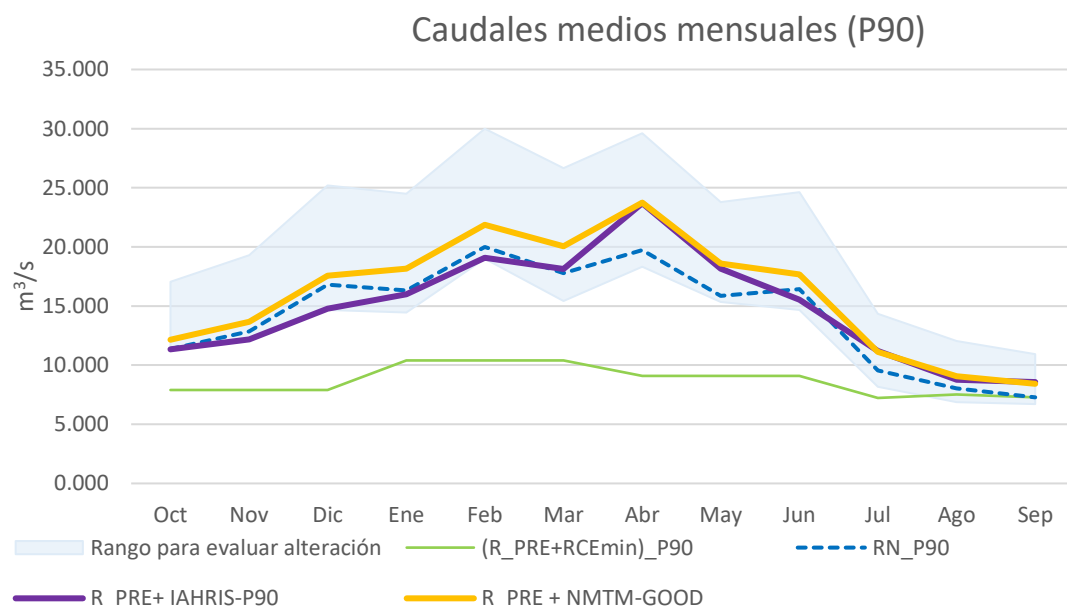


Figura 21. Ejemplo de aplicación de la FASE 5.1 en la MSPF “Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador” (ES030MSPF0102021), con EA “3258”.

En la *Figura 21* se muestra gráficamente si existe cambio significativo al implementar el cada uno de los dos métodos seleccionados. En este caso, ambos métodos (IAHRIS-P90 y NMTM-GOOD) tiene capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica en los 12 meses en los que se presenta.

Consideraciones a tener en cuenta en la aplicación del algoritmo de trabajo:

-Puede darse que en las FASES 3 y 5 el cambio significativo (Δ) presente un valor negativo. Esto se debe a que el caudal medio mensual (P90) puede aumentar al implementar el RCEmin, ya sea el normativo (22-27) o alguno de los seleccionados. Este aumento puede producir que ese mes pase a estar fuera del rango para la evaluación de la alteración, al superarse el umbral superior ($1,5 \cdot RN_{P90}$).

-Cuando la alteración hidrológica corresponda a una inversión estacional, el RCEmin, con independencia del escenario considerado, no tiene capacidad para reducirla en los meses en los que se presente.

5. RESULTADOS

En este epígrafe se mostrarán los resultados obtenidos a partir de la aplicación sistemática de la metodología.

5.1. Informes de las masas de agua superficiales

Como ya se ha mencionado anteriormente, para cada MSPF se genera un informe que recopila la información más relevante del algoritmo de trabajo. En el *ANEJO III: Informes de las 67 masas de aguas superficiales objeto de estudio (disponible en formato electrónico)*, se pueden consultar los informes propiamente dichos.

En este epígrafe se presentará un informe a modo de ejemplo, correspondiente a la masa de agua “Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador” (Aranjuez), con estación de aforos “3258”.

Los informes se estructuran siguiendo el orden del algoritmo de trabajo:

ÍNDICE	
1. Información general de la masa de agua superficial.....	1
2. FASE 1. ¿EL RCEmin(22-27) es hidrológicamente asumible?.....	4
3. FASE 2. Evaluación de la alteración hidrológica.....	5
4. FASE 3. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad potencial para reducir la alteración del régimen hidrológico?.....	7
5. FASE 4. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad real para mitigar las alteraciones hidrológicas del régimen de caudales?.....	9
6. FASE 5. Propuesta de escenarios	
6.1. FASE 5.1. Caracterización y selección de escenarios.....	11
6.2. FASE 5.2. Evaluación de los escenarios seleccionados.....	13
7. Resumen de los resultados por fases.....	14

Figura 22. Índice de los informes de las MSPF.

Todos los apartados que se recogen en el informe se han detallado en profundidad en el epígrafe 4.2. *Algoritmo de trabajo*, por lo que no se explicarán nuevamente los criterios establecidos en cada una de las fases. Sin embargo, de ser necesario, se incluirán comentarios aclaratorios en algunas de las tablas o figuras.

INFORMACIÓN GENERAL - MASA DE AGUA SUPERFICIAL		
Nombre masa	Río Tajo desde Arroyo del Álamo hasta Azud del Embocador (Aranjuez)	
Código masa	ES030MSPF0102021	
Naturaleza	Muy modificada	
Estado ecológico	Peor que bueno	
Tipología	R-T16-HM	
Demarcación	Tajo	
Embalse	-	
EA o EE	Estación de aforos - 3258	
Datos RCEmin	PHC 2009-2015	-
	PHC 2016-2021	-
	PHC 2022-2027	NORMATIVA: Apéndice 5 - Aprobación: 02/2023

1. LOCALIZACIÓN DE LA MASA DE AGUA SUPERFICIAL



Figura 23. Información general de la MSPF (1).

2. SERIES DE CAUDALES UTILIZADAS

Se establece como punto de estudio la estación de aforos. De esta manera si es necesario realizar una corrección por cuenca se trasladarán a este punto la serie de RN y los valores de RCEmin (22-27), y no se modificarán las series R_PRE y R_POST (obtenidas mediante medición directa en la EA).

Normativa en la que se define el RCEmin por primera vez para la MSPF.

1ª Normativa RCEmin			Punto de estudio						
mes	año	3er ciclo	febrero	2023	Estación de aforos - 3258				
Acronímico	Descripción	Inicio	Fin	Nº Años (D)	Nº Años (U)	¿CC?	NdC Global	Fuente	PL
RCEmin (22-27)	Régimen de caudales ecológico mínimo	-	-	-	-	No	-	Normativa del 3º ciclo - MSPF	Punto de cierre de la MSPF
RN	Régimen natural	1980/81	2017/18	38	29	No	ALTO	Modelización (SIMPA) en PH cuenca 3º CICLO en cierre de la MSPF	Punto de cierre de la MSPF
R_PRE	Régimen real de caudales previo a la implementación del RCEmin	1980/81	2019/20	31	29	-	ALTO	Anuario de aforos - CEDEX	Estación de aforos - 3258
R_PRE+RCEmin	R_PRE con simulación de RCEmin implementado	1980/81	2019/20	31	29	-	ALTO	Simulación de implementación a nivel diario del RCE en la serie R_PRE	Estación de aforos - 3258
R_POST	Régimen real de caudales posterior a la implementación de RCEmin	-	-	0	0	-	-	Anuario de aforos - CEDEX	Estación de aforos - 3258

Nº Años (D): Número de años disponibles; Nº Años (U): Número de años utilizados;
CC: Corrección por cuenca; NdC Global: Nivel de Confianza Global; PL: Punto de localización

Nivel de confianza parcial (S%)	
25% > S%	ALTO
50% ≥ S% ≥ 25%	MEDIO
S% > 50%	BAJO

S%: % superficie de cuenca entre PL y punto de cálculo

Nivel de confianza parcial (Nº)	
≥ 20 años	ALTO
20 años > Nº ≥ 15 años	MEDIO
15 años > Nº ≥ 9 años	BAJO

Nº: Número de años completos con datos

Coefficiente de corrección:
No aplica

Figura 24. Información general de la MSPF (2).

3. CARACTERIZACIÓN DEL RCE ESTABLECIDO EN LA MASA DE AGUA

3.1. Componentes del régimen de caudales ecológicos establecidos en la masa de agua y fecha de publicación de la Normativa

Componentes	1º CICLO	2º CICLO	3º CICLO
	(Junio 2013)	(Enero 2016)	(Febrero 2023)
Caudal mínimo	NO	NO	SÍ
Caudal máximo	NO	NO	NO
Tasa de cambio	NO	NO	NO
Caudales de crecida	NO	NO	NO

3.2. Metodologías empleadas en la Demarcación Hidrográfica

	1º CICLO	2º CICLO	3º CICLO
Métodos hidrológicos			
Métodos de simulación de hábitat			Eje del Tajo (basado en HPU50% con FV2) Se fija el caudal directamente a partir de la caracterización del hábitat, con diferentes factores de variación en cada caso

3.3. Valores numéricos de los componentes del RCEmin establecidos en la normativa de los distintos PH

En caso de MSPF aguas inmediatamente aguas abajo de un embalse, si se dispone de ambos RCEmin (desembalse y punto de cierre de la MSPSF) se selecciona el RCEmin (22-27) localizado en el punto más cercano al punto de estudio.

PHC 2022-2027. Régimen de caudales ecológicos mínimos ($m^3 s^{-1}$) de desembalse

Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep

PHC 2022-2027. Régimen de caudales ecológicos mínimos ($m^3 s^{-1}$) de la MSPF

Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
7.90	7.90	7.90	10.40	10.40	10.40	9.10	9.10	9.10	7.20	7.20	7.20

PHC 2022-2027. Régimen de caudales ecológicos mínimos ($m^3 s^{-1}$) en el punto de estudio

Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
7.90	7.90	7.90	10.40	10.40	10.40	9.10	9.10	9.10	7.20	7.20	7.20

Esta comprobación solo se hará si existe RCEmin definido en anteriores planes.

Es necesario comprobar si, en caso de estar definidos, los valores del RCEmin de los PHC anteriores están dentro del rango $0,75 \cdot RCEmin (22-27) - 1,25 \cdot RCEmin (22-27)$. Es decir, si el valor del cociente entre RCEmin (PHC anterior/PHC 2022-2027) expresado en % se sitúa entre el 75 y 125%.

PHC 2009-2015. Régimen de caudales ecológicos mínimos ($m^3 s^{-1}$) en el punto de estudio

Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep

% (PHC 2009-2015/PHC 2022-2027 · 100)

PHC 2016-2021. Régimen de caudales ecológicos mínimos ($m^3 s^{-1}$) en el punto de estudio

Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep

% (PHC 2016-2021/PHC 2022-2027 · 100)

De lo contrario, las celdas aparecerán vacías.

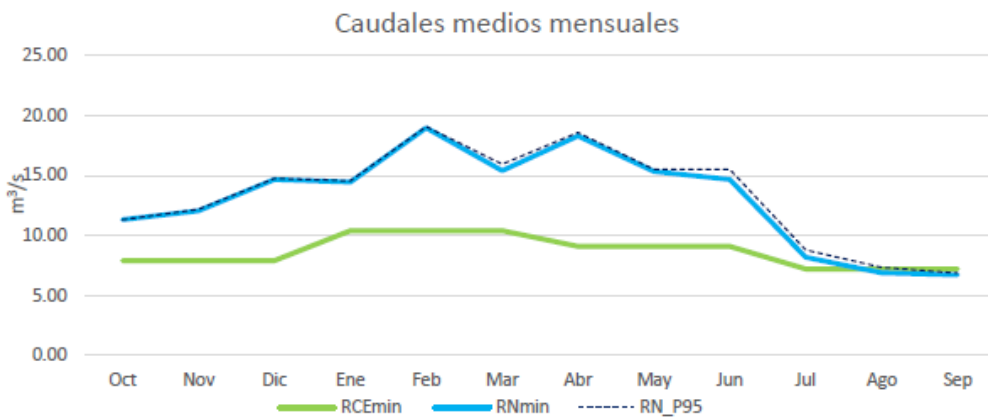
Figura 25. Información general de la MSPF (3).

FASE 1. ¿EL RCEmin(22-27) es hidrológicamente asumible?

CAUDALES MEDIOS MENSUALES ($m^3 s^{-1}$)

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL	umbrales		
RCEmin	7.90	7.90	7.90	10.40	10.40	10.40	9.10	9.10	9.10	7.20	7.20	7.20	meses			
RNmin	11.32	12.06	14.68	14.45	18.99	15.42	18.32	15.35	14.67	8.18	6.88	6.71				10
RN_P95	11.33	12.19	14.76	14.57	19.09	15.96	18.60	15.52	15.53	8.79	7.33	6.86		11		
¿RCEmin < RNmin?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI						
¿RCEmin < RN_P95?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI					

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
RCEmin / RNmin	0.7	0.7	0.5	0.7	0.5	0.7	0.5	0.6	0.6	0.9	1.0	1.1



RN=Régimen natural; (RNmin)mes i =Valor mínimo en RN del caudal medio mensual del mes i para la serie disponible. (RN_P95) mes i=Percentil de excedencia del 95% del caudal medio mensual del mes i para la serie disponible

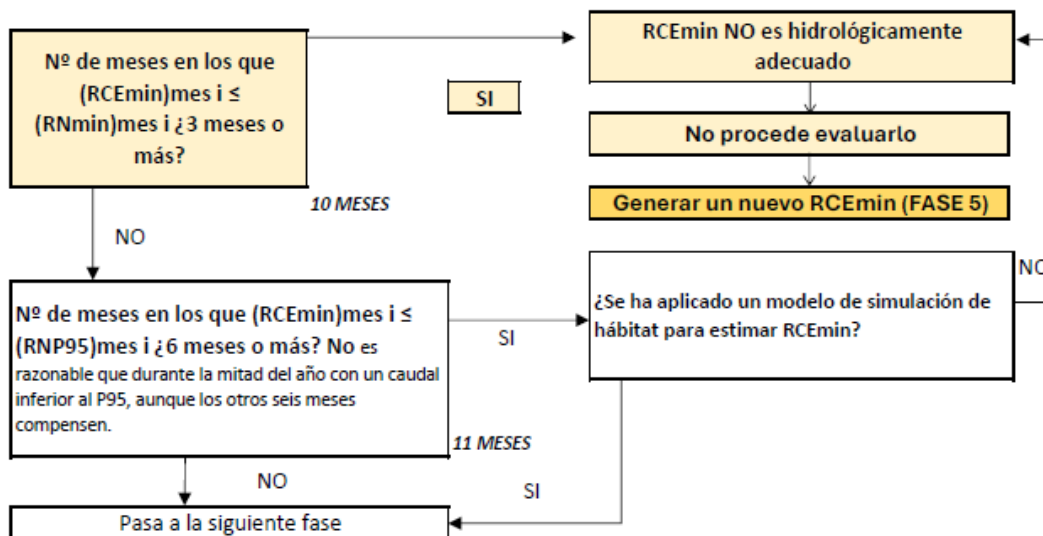


Figura 26. FASE 1. ¿El RCEmin (22-27) es hidrológicamente asumible?

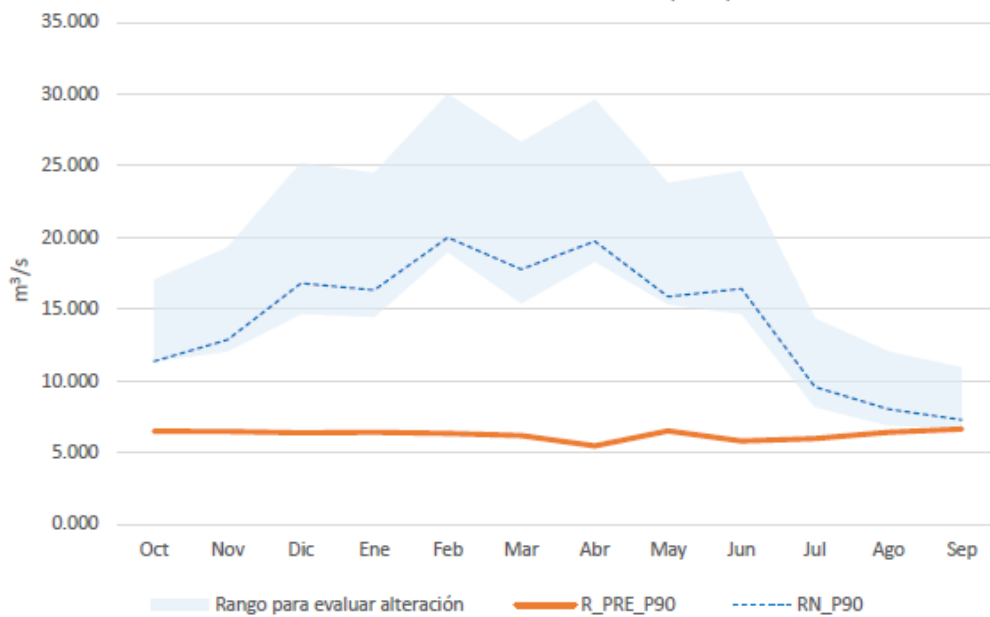
FASE 2. Evaluación de la alteración hidrológica

Comparación de régimen real (R_PRE) y régimen natural (RN)

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m³ s⁻¹)

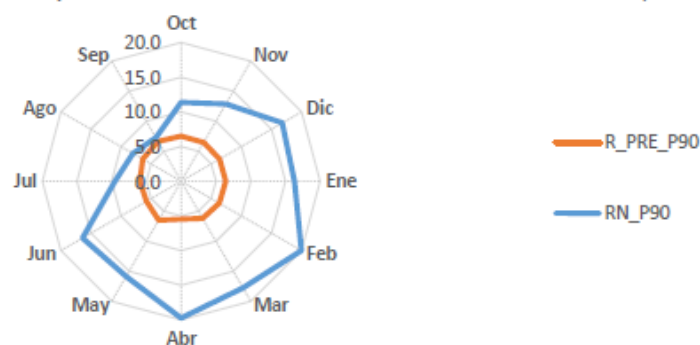
P90	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Nº meses en el rango
RN_P90	11.36	12.86	16.8	16.33	19.99	17.77	19.74	15.86	16.42	9.562	8.031	7.28	0
R_PRE_P90	6.49	6.46	6.37	6.41	6.34	6.18	5.46	6.50	5.80	5.97	6.40	6.63	

Caudales medios mensuales (P90)



Rango para evaluar la alteración: entre $1,5 \cdot RN_{P90}$ y máximo ($0,5 \cdot RN_{P90}$; RN_{min}).

Comparación de caudales medios mensuales P90 (m³/s)



La alteración hidrológica NO es baja, 0 meses dentro del rango no alcanza el umbral definido de al menos 10 meses dentro del rango de evaluación. Se procede a evaluar la capacidad potencial del RCEmin para reducir la alteración en la FASE 3.

Figura 27. FASE 2. Evaluación de la alteración hidrológica (1).

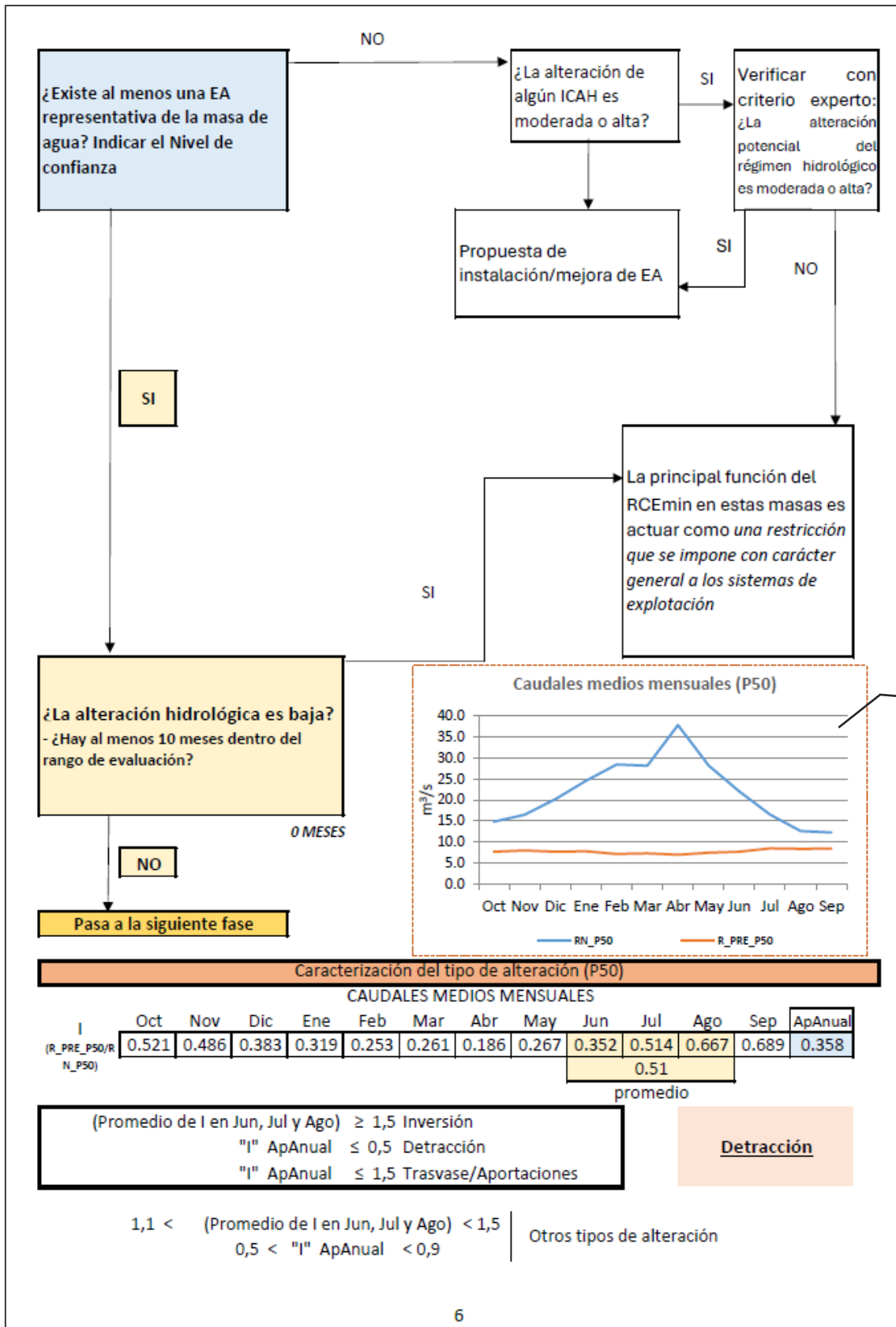


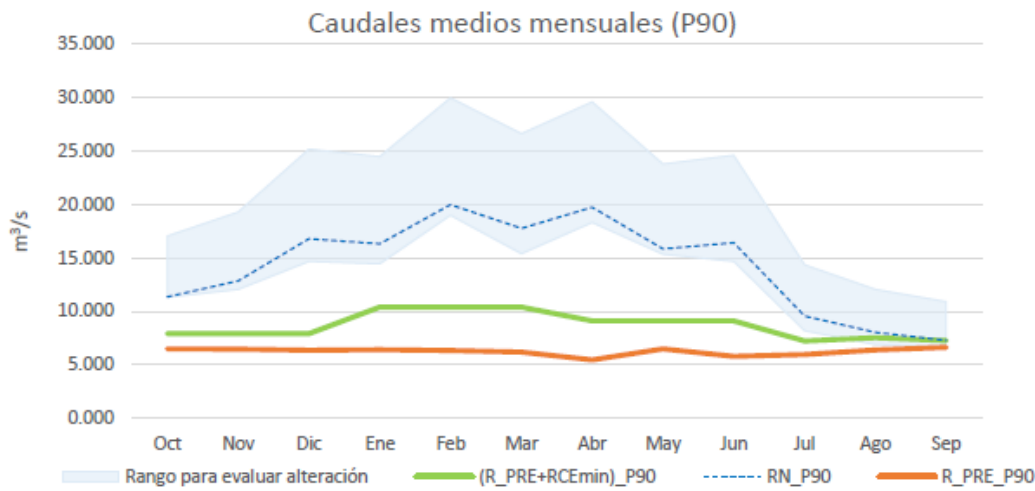
Figura 28. FASE 2. Evaluación de la alteración hidrológica (2).

FASE 3. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad potencial para reducir la alteración del régimen hidrológico?

Capacidad potencial del RCEmin(22-27) para reducir la alteración

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m ³ s ⁻¹)													Nº meses en el rango	Δ
P90	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep		
RN_P90	11.36	12.86	16.80	16.33	19.99	17.77	19.74	15.86	16.42	9.56	8.03	7.28		
R_PRE_P90	6.49	6.46	6.37	6.41	6.34	6.18	5.46	6.50	5.80	5.97	6.40	6.63	0	
(R_PRE+RCEmin)_P90	7.90	7.90	7.90	10.40	10.40	10.40	9.10	9.10	9.10	7.23	7.53	7.27	2	2

Nº m en el rango: Número de meses cuyo valor de caudal medio mensual (P90) está entre $1,5 \cdot RN_P90$ y máximo ($0,5 \cdot RN_P90$; RNmin); Δ: Número de meses en los que hay cambio significativo, es decir, pasan a estar dentro del rango.



Rango para evaluar la alteración: entre $1,5 \cdot RN_P90$ y máximo ($0,5 \cdot RN_P90$; RNmin).

Días en los que se ha implementado el RCEmin (R_PRE = 29 años)		
MES	Nº de días totales	Promedio
oct	454	16
nov	388	13
dic	478	16
ene	677	23
feb	713	25
mar	812	28
abr	640	22
may	663	23
jun	602	21
jul	248	9
ago	201	7
sep	227	8
TOTAL ANUAL	6103	210

Otoño Invierno Primavera Verano

No hay cambio significativo en al menos 3 meses, sin embargo el RCEmin se implementa una media de 210 días al año, superando el umbral establecido de 90 días. Por lo que se comprueba si el número de meses con cambio significativo es igual a 2 (Nº meses en los que hay cambio significativo=2). Se pasa a la siguiente FASE.

Figura 29. FASE 3. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad potencial para reducir la alteración del régimen hidrológico?

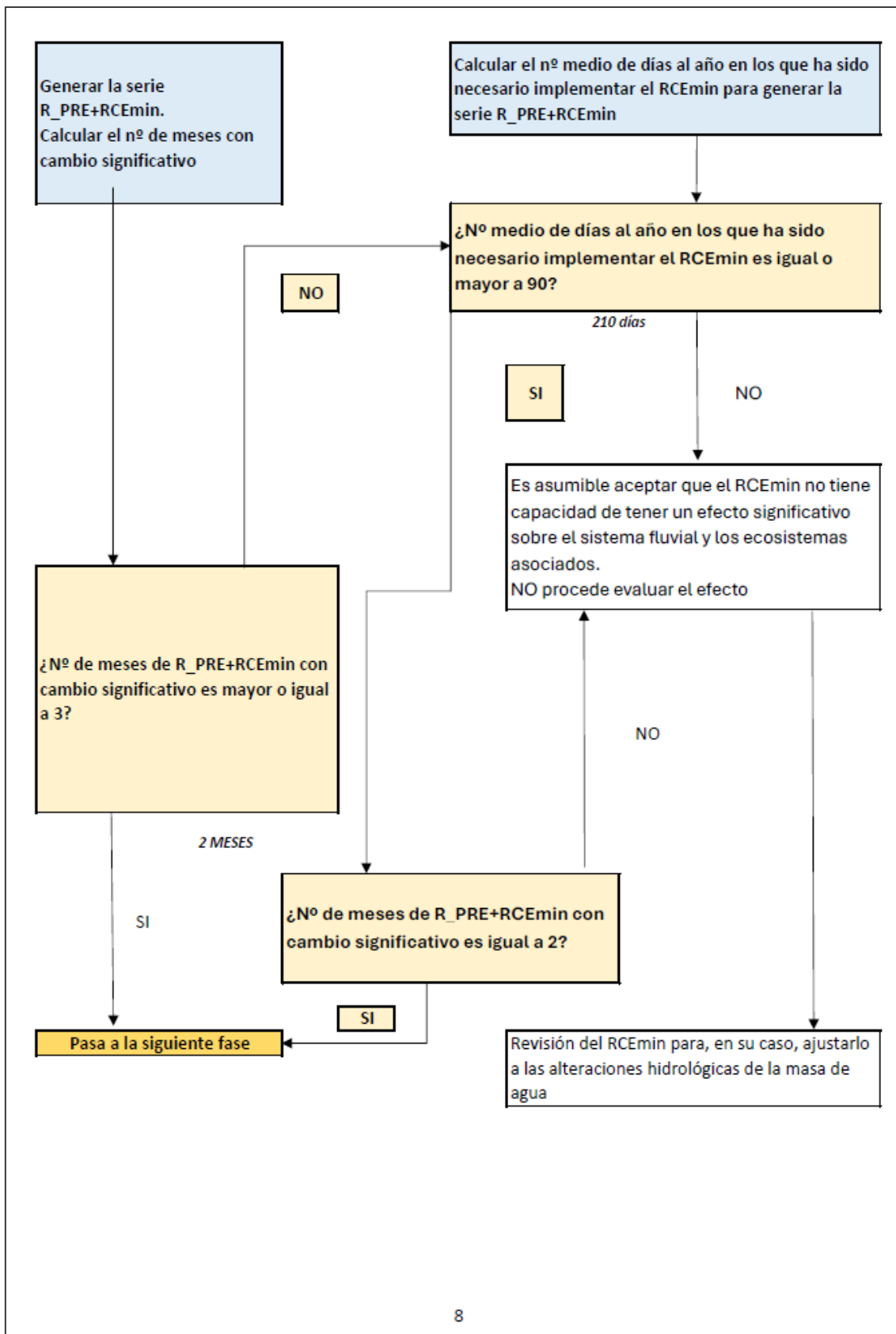


Figura 30. FASE 3. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad potencial para reducir la alteración del régimen hidrológico?

FASE 4. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad real para mitigar las alteraciones hidrológicas del régimen de caudales?

*¿Se ha activado el RCEmin? $0,75 \cdot R_{CEmin}$ scaudal medio diarios $1,25 \cdot R_{CEmin}$
 * Se asume que ha habido fallo el día evaluado cuando caudal medio diarios $0,75 \cdot R_{CEmin}$

Otoño Invierno Primavera Verano

NdC

- o Alto: 20 años o más
- o Medio: 15 a 19 años
- o Bajo: 9 a 14 años
- o Muy bajo: 7-8 años

Nº años

o

NdC

-

*Limitado por SIMPA y R_POST

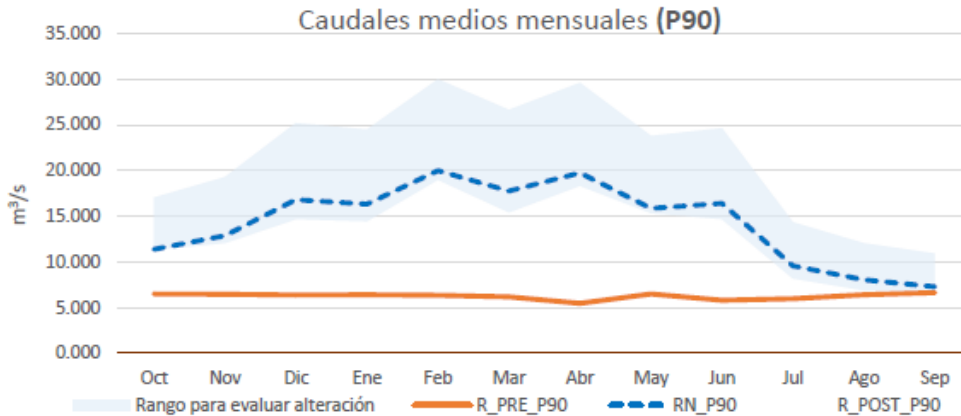
Días en los que se ha activado e incumplido el RCEmin (R POST = 0 años)				
Mes	Nº total de días en los que se ha activado el RCEmin	Promedio días que se ha activado el RCEmin (Nº días/Nº años)	Nº de días en los que ha habido fallo en el RCEmin	Promedio de días que se ha incumplido el RCEmin (Nº días/Nº años)
oct				
nov				
dic				
ene				
feb				
mar				
abr				
may				
jun				
jul				
ago				
sep				
Total anual				

CAPACIDAD REAL DEL RCEmin PARA REDUCIR LA ALTERACION

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m³ s⁻¹)

P90	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Nº m en el rango Δ
R_PRE_P90	6.49	6.46	6.37	6.41	6.34	6.18	5.46	6.50	5.80	5.97	6.40	6.63	0
R_POST_P90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nº m en el rango: Número de meses cuyo valor de caudal medio mensual (P90) está entre $1,5 \cdot R_{N_P90}$ y máximo ($0,5 \cdot R_{N_P90}$; RNmin); Δ : Número de meses en los que hay cambio significativo, es decir, pasan a estar dentro del rango.



Rango para evaluar la alteración: entre $1,5 \cdot R_{N_P90}$ y máximo ($0,5 \cdot R_{N_P90}$; RNmin)

Esta fase se incluirá de manera predeterminada en el informe. Sin embargo, para muchas MSPF no hay datos suficientes para R_POST, por lo que las celdas aparecerán vacías.

Figura 31. FASE 4. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad real para mitigar las alteraciones hidrológicas del régimen de caudales? (1).

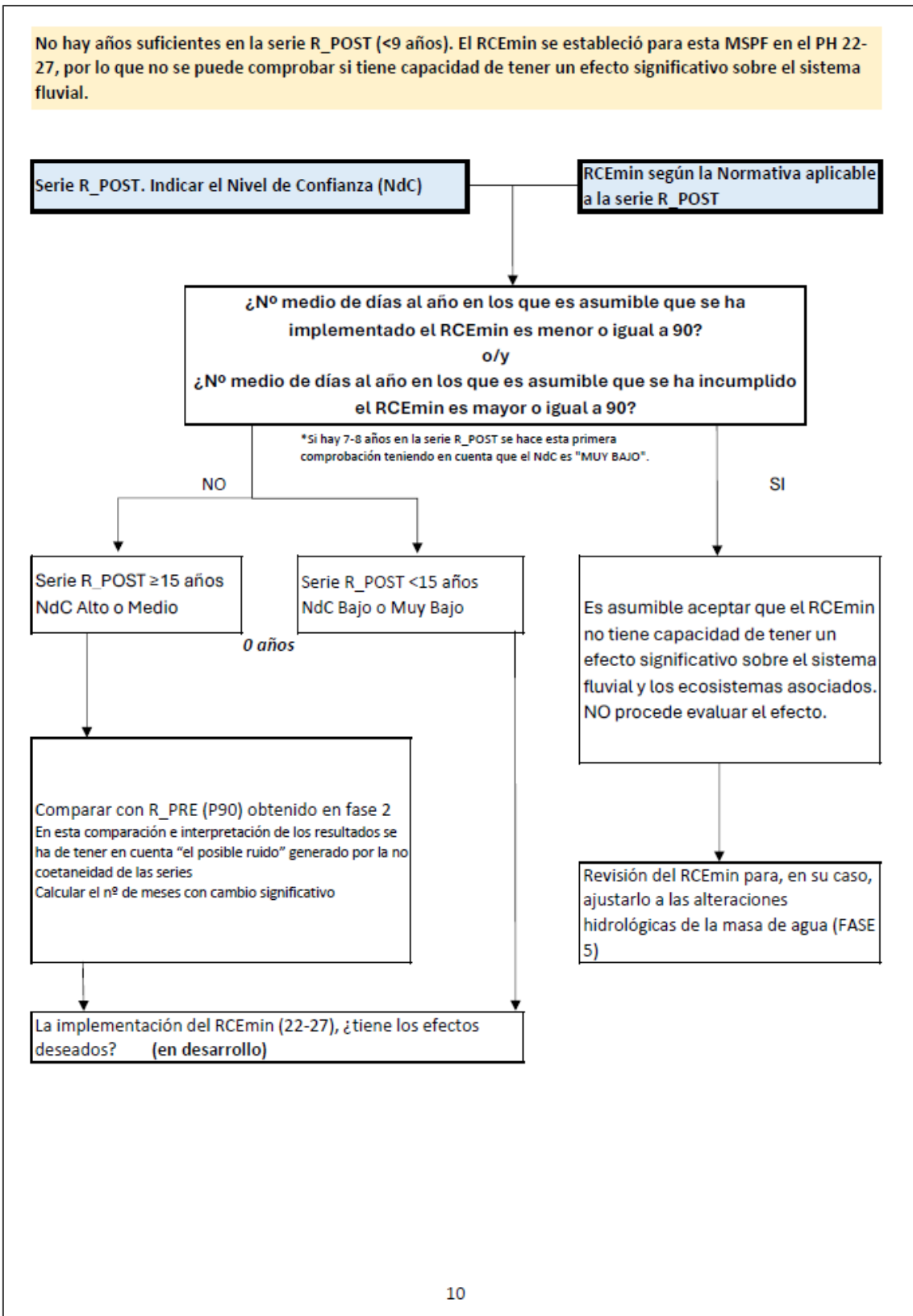
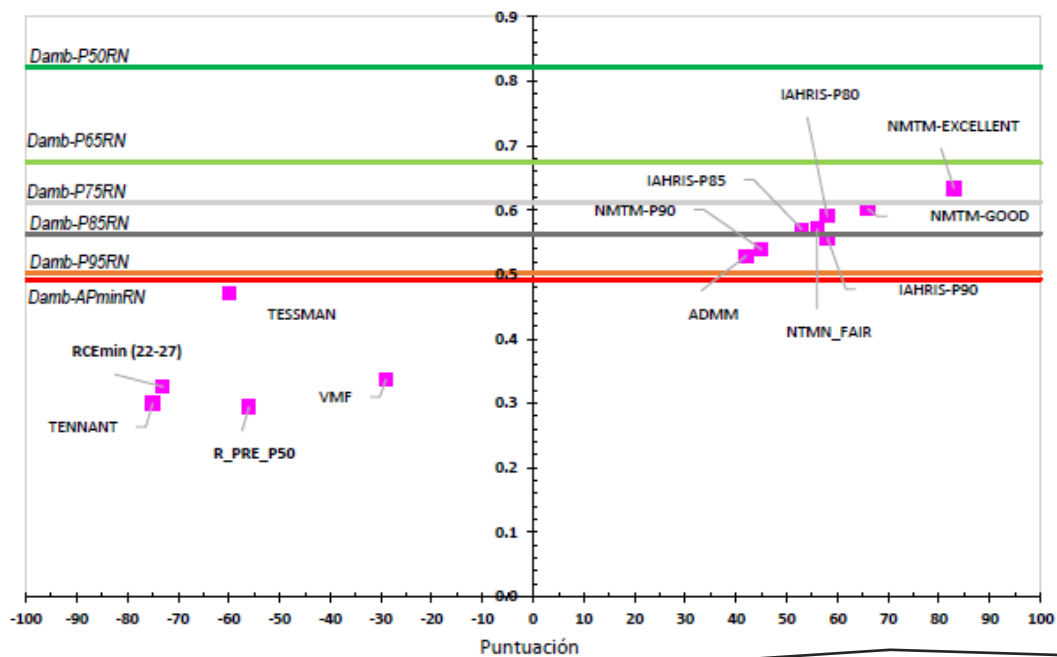


Figura 32. FASE 4. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad real para mitigar las alteraciones hidrológicas del régimen de caudales? (2).

FASE 5.1 Caracterización y selección de escenarios

VALORACIÓN DE LOS MÉTODOS



La definición de las variables utilizadas se recoge en la siguiente página

MÉTODOS	Puntuación	Demanda ambiental	Eficiencia
TENNANT	-75	0.300	-0.299
TESSMAN	-60	0.471	-0.152
VMF	-29	0.337	-0.103
NMTM-P90	45	0.539	0.100
NTMN_FAIR	56	0.571	0.117
NMTM-GOOD	66	0.602	0.131
NMTM-EXCELLENT	83	0.633	0.157
ADMM	42	0.529	0.095
IAHRIS-P80	58	0.590	0.118
IAHRIS-P85	53	0.570	0.111
IAHRIS-P90	58	0.556	0.125
RCEmin (22-27)	-73	0.326	-0.268
R_PRE_P50	-56	0.294	-0.228

- Métodos entre Damb APminRN y P85RN
- Métodos entre Damb P85RN y P75RN
- Método con mayor eficiencia entre Damb APminRN y P85RN
- Método con mayor eficiencia entre Damb P85RN y P75RN

Figura 33. FASE 5.1. Caracterización y selección de escenarios (1).

Demanda Ambiental (Damb) : Aportación anual del escenario de RCE considerado/Aportación anual MEDIA del régimen natural (RN)

Damb APminRN: Demanda ambiental del escenario correspondiente a un año en el que cada mes circule una aportación igual a la mínima absoluta registrada en ese mes en RN. No son aceptable escenarios de RCE con una Damb inferior a este valor.

PXXRN: Los escenarios se han generado teniendo como referencia el percentil de excedencia XX de las aportaciones de cada mes en RN.

Por ejemplo:

Rreal(P50): Régimen real obtenido considerando las aportaciones medianas (percentil 50) de cada mes.

NMTM(P90): Escenario RCE calculado según la metodología NMTM que toma como referencia el percentil de excedencia del 90% de la aportación mensual en RN.

IAHRIS(P90): Escenario RCE calculado según la metodología IAHRIS que toma como referencia las aportaciones del percentil de excedencia del 85% de cada mes en RN y las modula para que la aportación del escenario sea igual a la aportación P90RN. La puntuación de este escenario mejora la correspondiente a RN-P90.

Puntuación global : Evalúa la calidad del escenario en estacionalidad, magnitud y variabilidad de las aportaciones mensuales, comparándolo con el régimen natural.

Eficiencia: Puntuación/Aportación RCE. Su valor indica el número de puntos que se consigue con cada hm³ del RCE

Criterio de selección: En cada uno de los rangos Damb APminRN → Damb P85RN y Damb P85RN→Damb P75RN, escoger el método que presente la mayor eficiencia

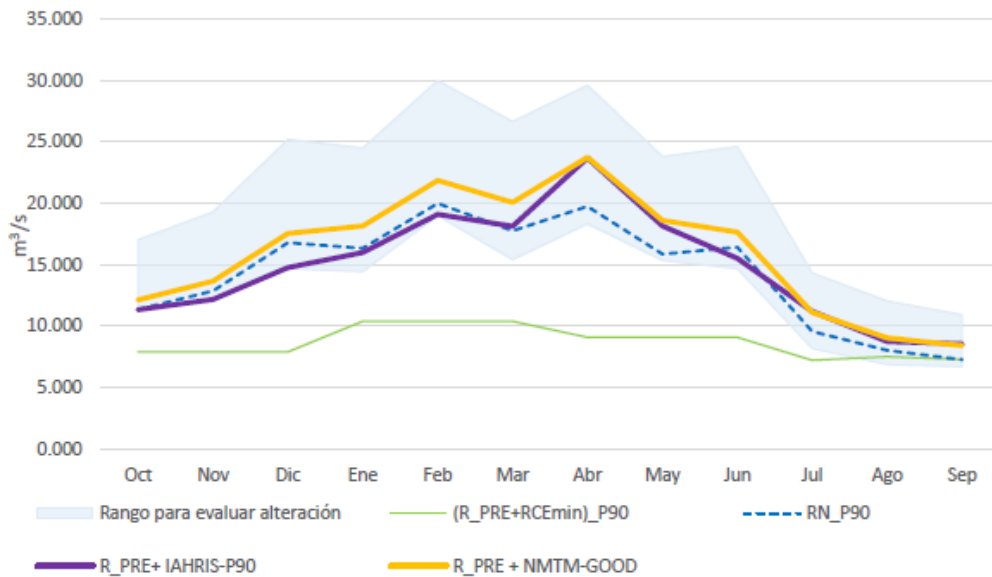
FASE 5.2. Evaluación de los escenarios seleccionados

CAUDALES MEDIOS MENSUALES ($m^3 s^{-1}$)

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Nº m en el rango	Δ	Damb
R_PRE_P90	6.49	6.46	6.37	6.41	6.34	6.18	5.46	6.50	5.80	5.97	6.40	6.63	0	-	
(R_PRE+RCEmin)_P90	7.90	7.90	7.90	10.40	10.40	10.40	9.10	9.10	9.10	7.23	7.53	7.27	2	2	0.3748
(R_PRE+IAHRIS-P90)_P90	11.33	12.19	14.76	16.00	19.09	18.12	23.69	18.15	15.53	11.20	8.76	8.57	12	12	0.5735
(R_PRE+NMTM-GOOD)_P90	12.14	13.67	17.56	18.15	21.87	20.07	23.75	18.60	17.66	11.12	9.05	8.42	12	12	0.617

Nº m en el rango: Número de meses cuyo valor de caudal medio mensual (P90) está entre $1,5 \cdot RN_{P90}$ y máximo ($0,5 \cdot RN_{P90}$; RN_{min}); Δ : Número de meses en los que hay cambio significativo, es decir, pasan a estar dentro del rango; Damb: Demanda ambiental (Aportación anual del escenario sin implementar/Aportación media anual del RN).

Caudales medios mensuales (P90)



Rango para evaluar la alteración: entre $1,5 \cdot RN_{P90}$ y máximo ($0,5 \cdot RN_{P90}$; RN_{min})

Implementando el método IAHRIS-P90:

- El número de meses dentro del rango utilizado para evaluar la alteración sería de 12, frente a los 2 meses con el RCEmin (22-27) implementado.
- La Damb sería de 0.574, lo que supone un incremento del 53% respecto a la Damb del RCEmin (22-27) implementado.

Implementando el método NMTM-GOOD:

- El número de meses dentro del rango utilizado para evaluar la alteración sería de 12, frente a los 2 meses con el RCEmin (22-27) implementado.
- La Damb sería de 0.617, lo que supone un incremento del 64.7% respecto a la Damb del RCEmin (22-27) implementado.

Figura 35. FASE 5.2. Evaluación de los escenarios seleccionados.

RESUMEN DE LOS RESULTADOS POR FASES

FASE	OBJETIVO	RESULTADO
1	¿El RCE min es hidrológicamente asumible?	NO (10 meses con RCEmin < RNmin)
2	¿La alteración hidrológica es baja?	NO (12 meses fuera del rango)
3	¿el RCEmin tiene capacidad potencial para reducir la alteración en al menos 2 meses?	SI (reduce la alteración en 2 meses)
4	¿El RCEmin tiene capacidad real para mitigar las alteraciones?	No se ha podido evaluar
5.1	¿Qué escenarios de RCEmin se proponen?	IAHRIS-P90 NMTM-GOOD
5.2	¿Los escenarios propuestos tienen capacidad potencial para reducir la alteración en al menos 2 meses?	IAHRIS-P90: Sí, el nº de meses dentro del rango sería de 12 frente a los 2 meses con el RCEmin (22-27) implementado NMTM-GOOD: Sí, el nº de meses dentro del rango sería de 12 frente a los 2 meses con el RCEmin (22-27) implementado

Rango para evaluar la alteración: entre $1,5 \cdot RN_{P90}$ y máximo $(0,5 \cdot RN_{P90}; RNmin)$.

NOTA: El usuario debe tener presente que cuando la alteración hidrológica corresponda a una inversión estacional, el RCEmin, con independencia del escenario considerado, no tendrá capacidad para reducirla en los meses en los que se presente.

Figura 36. Resumen de los resultados por fases.

5.2. Resumen global

Este epígrafe tiene como objetivo presentar los resultados de la aplicación de la metodología para el conjunto de MSPF seleccionadas.

Tabla 8. Resumen global de resultados por FASES.

FASE	OBJETIVO	RESULTADO				
		NO		SI		
		Nº	%	Nº	%	
1	¿El RCEmin (22-27) es hidrológicamente asumible?	58	87%	9	13%	
2	¿La alteración hidrológica es baja?	67	100%	0	0%	
3	¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica en al menos 2 meses?	60	90%	7	10%	
4	¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad real para reducir la alteración?	-	-	-	-	
5	¿Los escenarios propuestos tienen capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica en al menos en al menos 2 meses?	Escenario 1	16	24%	51	76%
		Escenario 2	21	31%	46	69%

A continuación, se presentarán los resultados de la aplicación de cada fase para cada DH, y para el conjunto de la muestra (a excepción de la FASE 4).

5.2.1. FASE 1. ¿El RCEmin (22-27) es hidrológicamente asumible?

En la *Figura 37* se recogen los resultados de la pregunta planteada en este epígrafe, obteniéndose que en el 87% de las MSPF objeto de estudio el RCEmin (22-27) no es objetivamente asumible desde un punto de vista hidrológico.

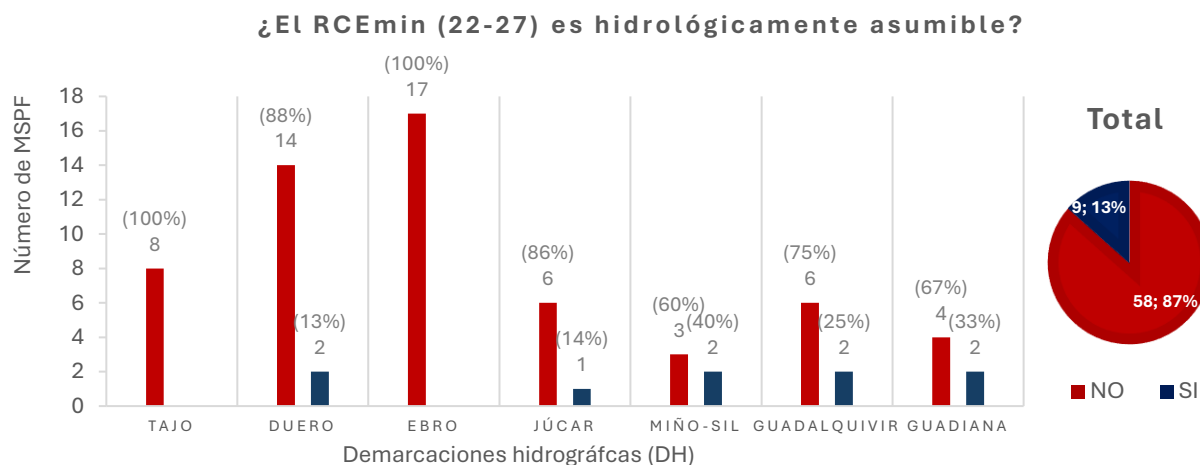


Figura 37. Resultados de la FASE 1.

5.2.2. FASE 2. ¿La alteración hidrológica es baja?

En el 100% de las MSPF objeto de estudio en el conjunto de DH se puede afirmar que la alteración hidrológica no es baja (*Figura 38*).



Figura 38. Resultados de la FASE 2 para el total de MSPF.

5.2.3. FASE 3. ¿El RCEmin (22-27) tiene capacidad potencial para reducir la alteración?

En la *Figura 39* se recogen los resultados de la FASE 3. Se obtiene que en el 90% de las MSPF estudiadas el RCEmin (22-27) no tiene capacidad potencial para reducir la alteración.

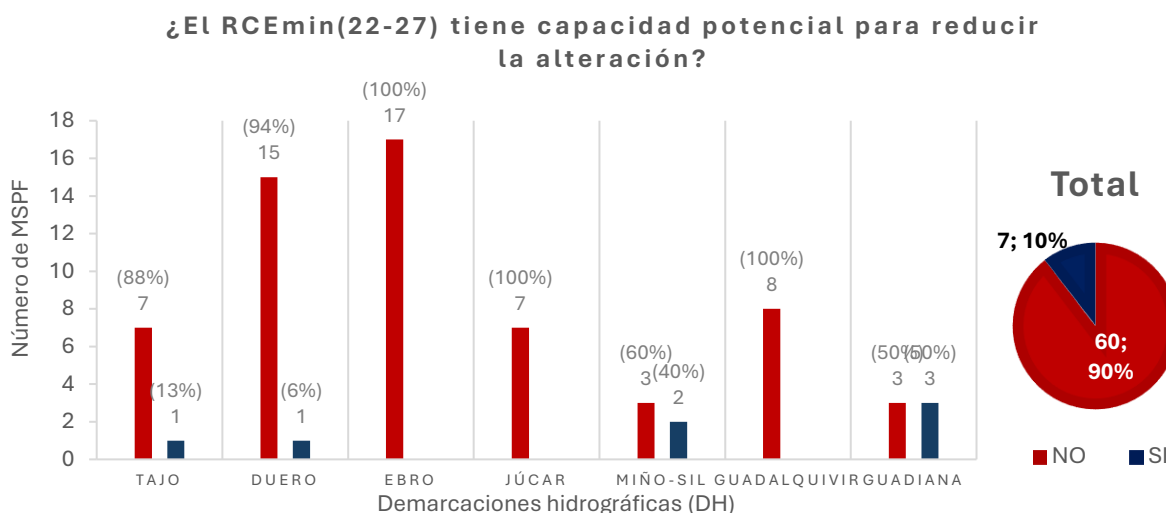


Figura 39. Resultados de la FASE 3.

5.2.4. FASE 5. ¿Los escenarios propuestos tienen capacidad potencial para reducir la alteración?

- Escenario N°1: En la *Figura 41* se recogen los resultados de la FASE 5 para el escenario N°1, se obtiene que en el 76% de los casos este escenario tiene capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica.

¿Los escenarios propuestos tienen capacidad potencial para reducir la alteración en al menos 2 meses?

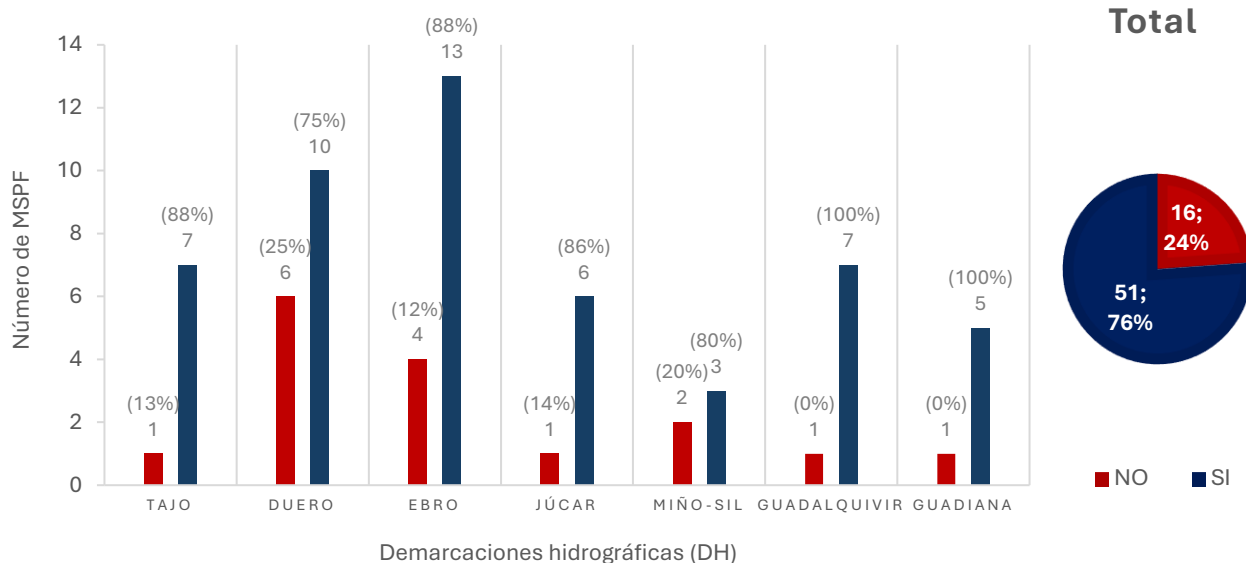


Figura 41. Resultados de la FASE 5 (escenario N°1)

- Escenario N°2: En la Figura 40 se recogen los resultados de la FASE 5 para el escenario N°2, se obtiene que en el 69% de los casos este escenario tiene capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica.

¿Los escenarios propuestos tienen capacidad potencial para reducir la alteración en al menos 2 meses?

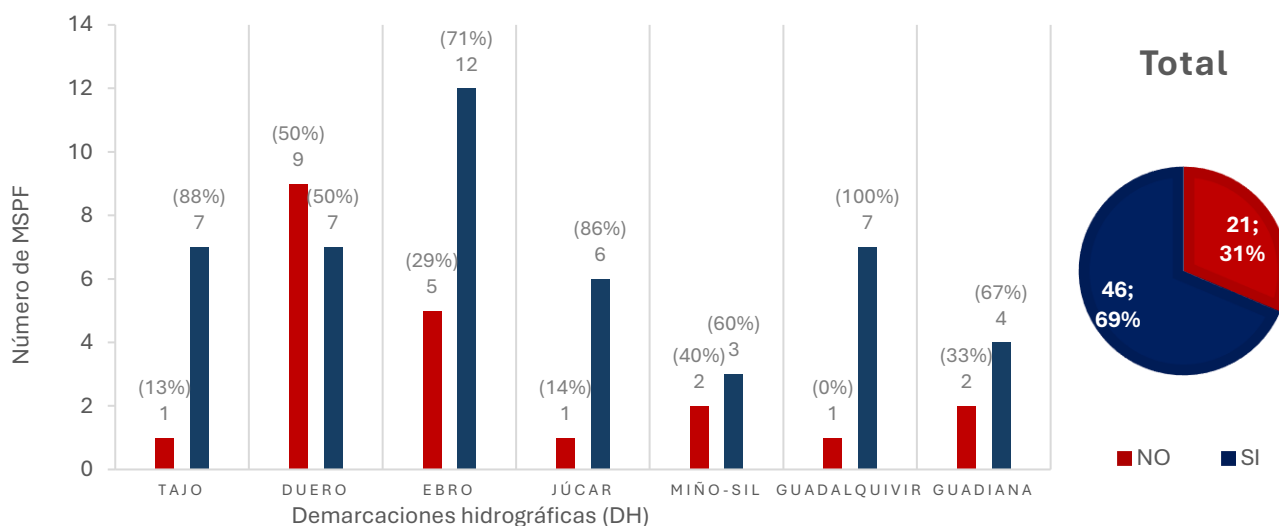


Figura 40. Resultados de la FASE 5 (escenario N°2)

5.3. Resumen por variables

Para este epígrafe, se establecen cinco apartados de resultados específicos de interés en base a las series hidrológicas utilizadas:

- Variables en relación al RCEmin (22-27)
- Variables en relación a la serie R_PRE
- Variables en relación a la serie R_PRE+RCEmin
- Variables ligadas a los escenarios seleccionados RCEsel (1) y RCEsel (2)
- Variables ligadas a las series implementadas R_PRE+RCEsel (1) y R_PRE+RCEsel (2)

Estos datos se pueden consultar en el *ANEJO IV: Variables obtenidas para cada masa de agua superficial (disponible en formato electrónico)*.

5.3.1. RCEmin (22-27)

En este apartado se incluyen los resultados obtenidos para las variables aplicadas en la FASE 1 y la demanda ambiental.

-Las variables utilizadas en la FASE 1 son: número de meses en los que el RCEmin (22-27) es menor que RNmin (*Figura 42*); número de meses en los que RCEmin (22-27) es menor que RN_P95. Para la representación de los datos se han definido los siguientes rangos: 0, 1-3, 4-6, 7-9 y 10-12.

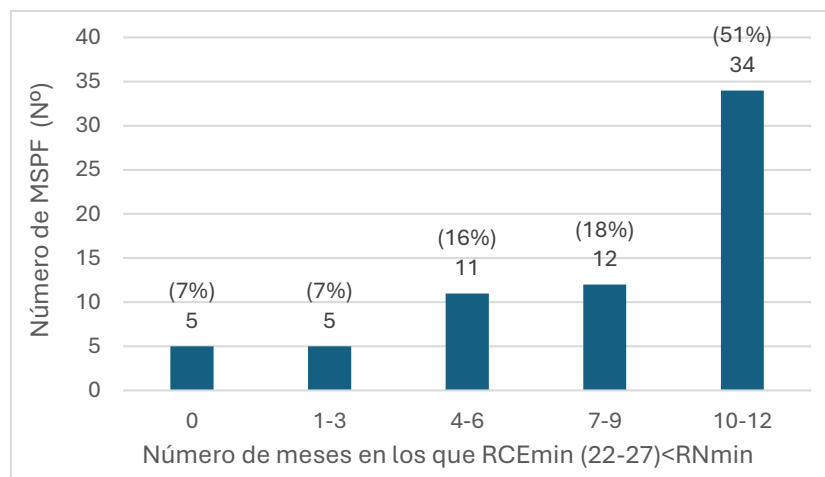


Figura 42. Número de MSPF según el número de meses en los que RCEmin (22-27) < RNmin.

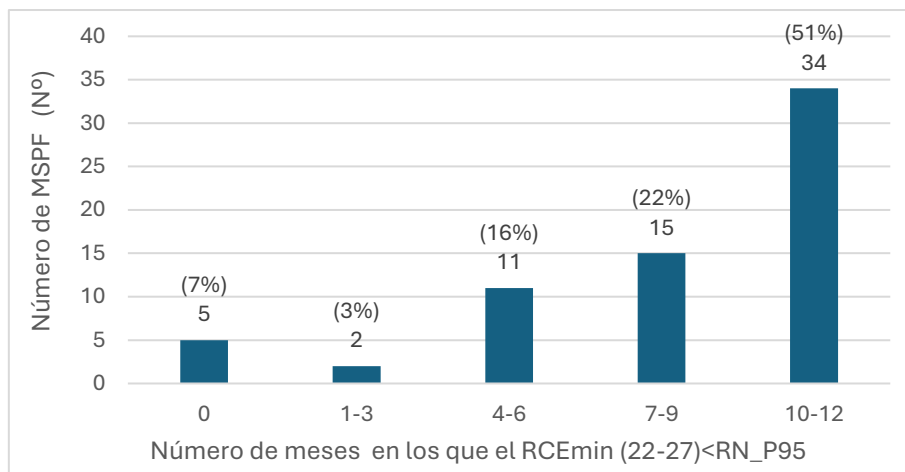


Figura 43. Número de MSPF según el número de meses en los que el RCEmin (22-27) < RN_P95.

-En cuánto a la demanda ambiental (*Aportación anual RCEmin SIN IMPLEMENTAR/Aportación anual media RN*), se han definido los siguientes rangos para la representación de los resultados: 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0.

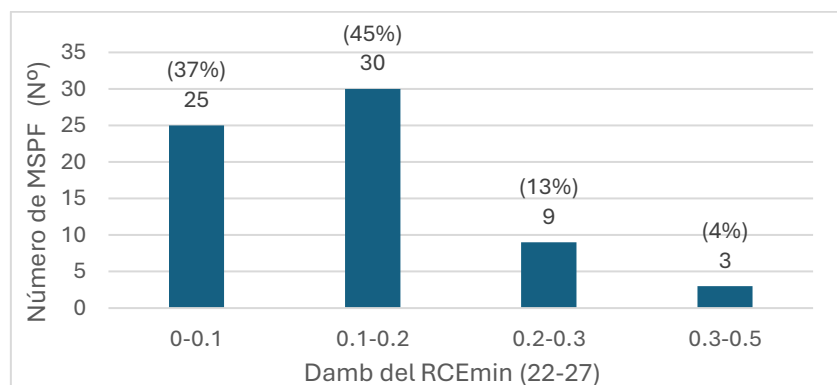


Figura 44. Número de MSPF clasificadas según la demanda ambiental (Damb) del RCEmin (22-27) (ver definición de Damb, pág 39).

-Es importante diferenciar los resultados de este apartado en base a las metodologías utilizadas para el cálculo del RCEmin (22-27). Esta información se puede consultar de manera específica para cada DH (*ANEJO IV: Variables obtenidas para cada masa de agua superficial (disponible en formato electrónico)*). Esto se debe a que en algunos PHC no se encuentra disponible esta información a nivel individual de cada MSPF, habiéndose podido obtener únicamente para la DHT, DHJ, DHG y DHGV.

5.3.2. R_PRE

En este segundo apartado se representan los resultados vinculados a la serie R_PRE y por lo tanto a la alteración hidrológica. Las variables que se incluyen son las utilizadas en la FASE 2: número de meses dentro del rango, tipo de alteración e indicador “I” (R_PRE_P50/RN_P50) para la caracterización del tipo de alteración.

-El número de meses dentro del rango se ha representado mediante los rangos mensuales definidos en el epígrafe anterior.

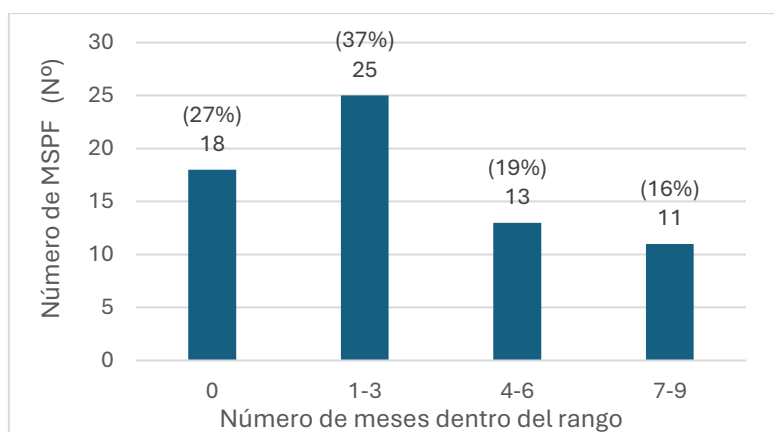


Figura 45. Número de MSPF según el número de meses dentro del rango (ver definición de rango, pág.27)

-El tipo de alteración más frecuente es la inversión de la estacionalidad, presente en un 36% de las 67 MSPF seleccionadas.

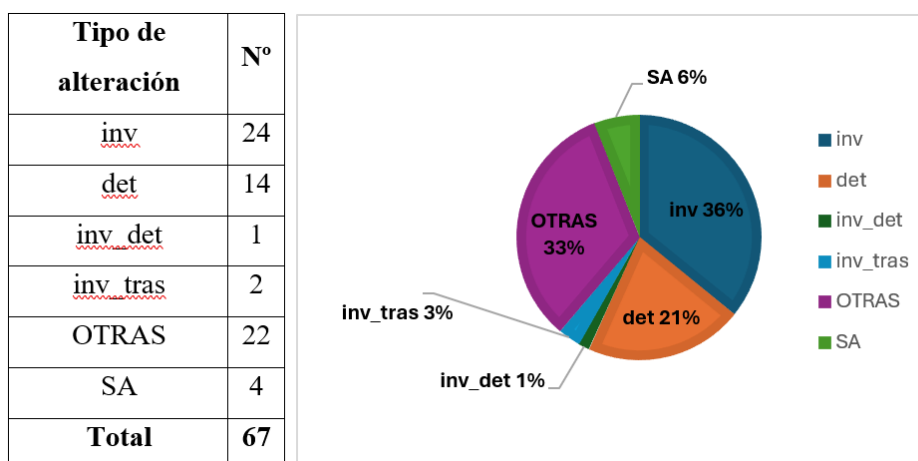


Figura 46. Porcentaje (%) de MSPF según el tipo de alteración hidrológica. (inv: inversión de la estacionalidad; det: detracción; inv_det: inversión y detracción; inv_tras: inversión y trasvase; OTRAS: Otros tipos de alteración hidrológica; SA: sin alteración).

-Para las categorías más representadas (inversión de la estacionalidad y detracción), se muestra el valor del indicador de la alteración hidrológica en función de los rangos establecidos teniendo en cuenta la *Tabla 6*.

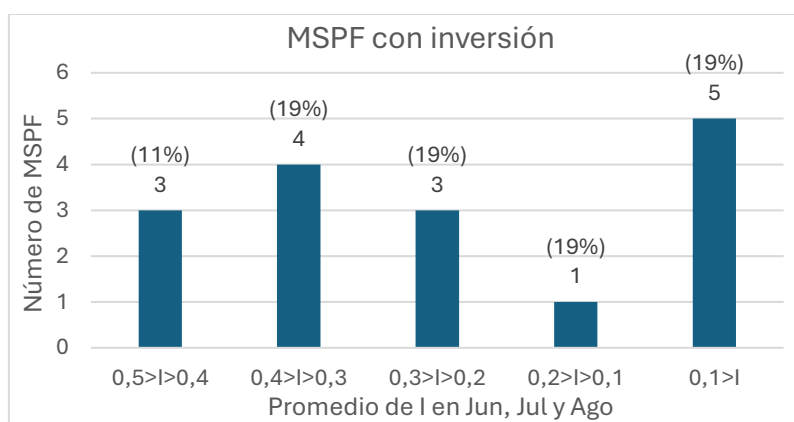


Figura 47. Número de MSPF con inversión según el valor del promedio de I en junio, julio y agosto (ver definición en Tabla 6).

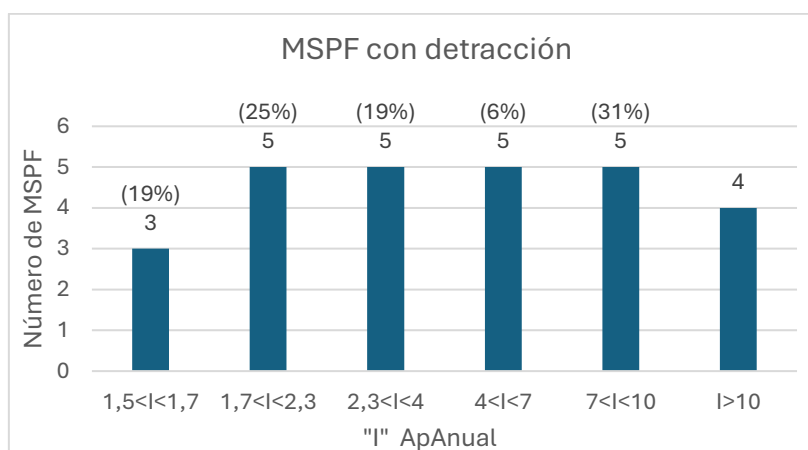


Figura 48. Número de MSPF con inversión según el valor de "I" ApAnual (ver definición en Tabla 6).

5.3.3. R_PRE+RCEmin

En este apartado se han recogido los resultados que corresponden a las variables utilizadas en la FASE 3, dónde se utiliza la simulación de la implementación teórica del RCEmin (22-27). Se han generado gráficos en función de los resultados de esta implementación: número medio de días al año en los que se ha implementado (*Figura 49*). Número de MSPF según el número medio de días en los que se implementa el RCEmin (22-27)., mes en el que más veces se ha implementado (*Figura 50*), y estación (otoño, invierno, primavera o verano) en la que más veces se ha implementado (*Figura 51*).

-En más de la mitad de las MSPF el RCEmin (22-27) se implementa menos de 70 días al año de media.

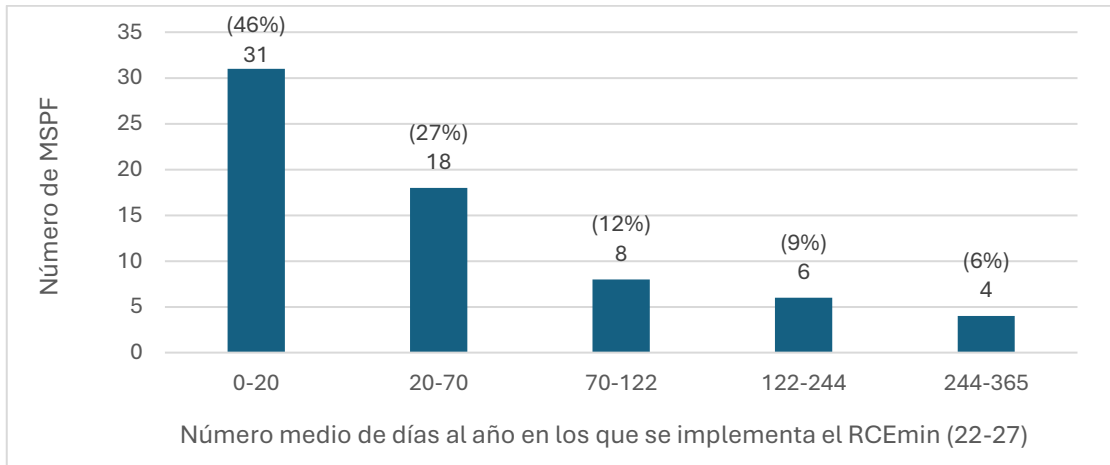


Figura 49. Número de MSPF según el número medio de días en los que se implementa el RCEmin (22-27).

-Los meses en los que más veces se ha implementado el RCEmin (22-27) en la serie R_PRE+RCEmin, son marzo (en 12 MSPF), octubre (en 11 MSPF) y agosto (en 9 MSPF).

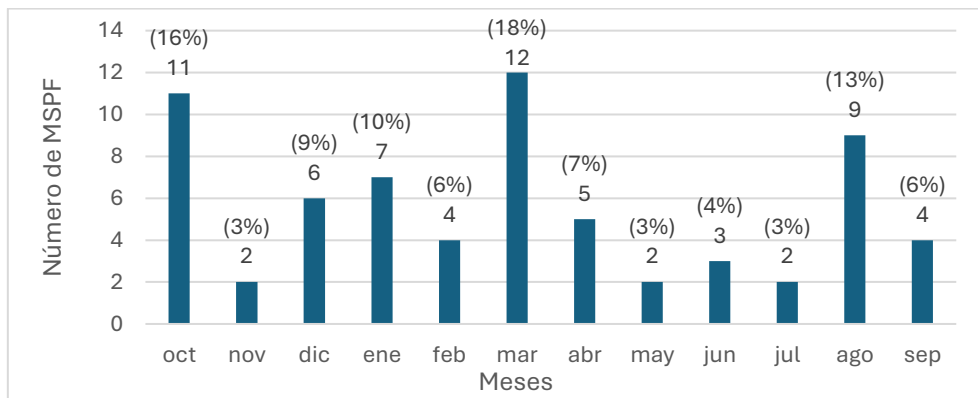


Figura 50. Número de MSPF según el mes en el que más veces se implementa el RCEmin (22-27).

-La estación en las que más veces se implementa el RCEmin (22-27) es invierno, seguida por verano y otoño.

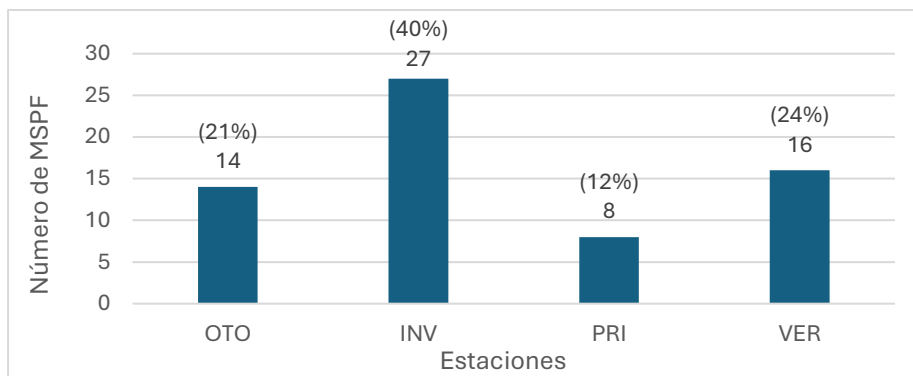


Figura 51. Número de MSPF según la estación en la que más veces se ha implementado el RCEmin (22-27).

5.3.4. RCEsel (1) y RCEsel (2)

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de la FASE 5.1. Las variables que se recogen son: métodos hidrológicos seleccionados; y demanda ambiental, eficiencia y puntuación de los mismos en comparación con el RCEmin (22-27).

-Los escenarios de RCEmin generados por IAHRIS (P80, P85 y P90) son los más seleccionados, junto a ADMM y NMTM-GOOD (Figura 52 y Figura 53).

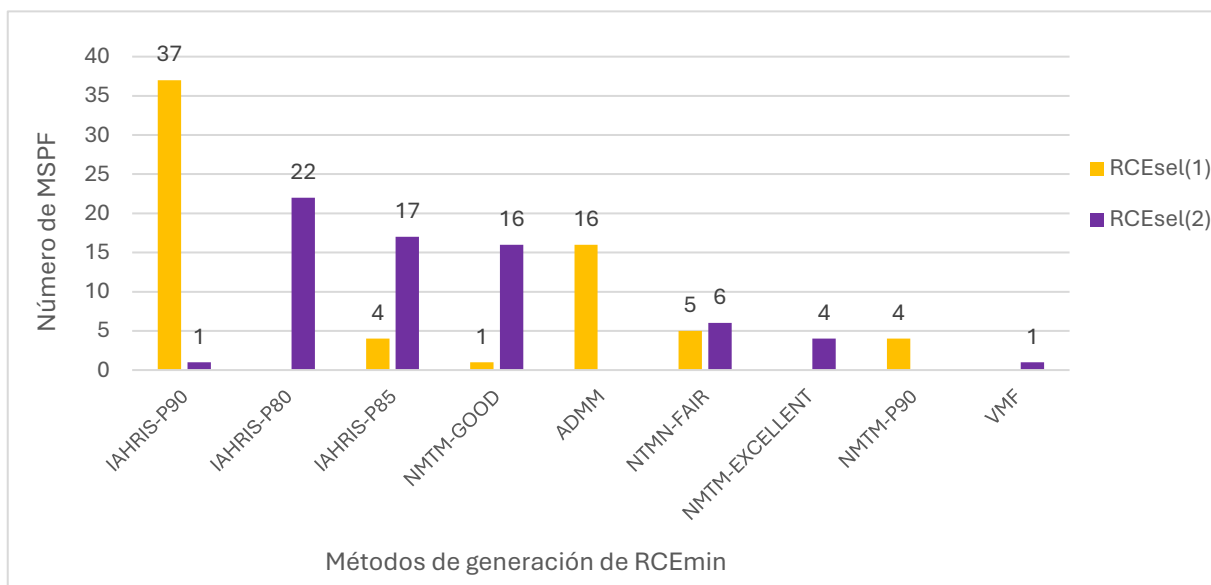


Figura 52. Métodos de generación de RCEmin seleccionados (ver pág. 39).

Método	N°
IAHRIS-P90	38
IAHRIS-P80	22
IAHRIS-P85	21
NMTM-GOOD	17
ADMM	16
NTMN-FAIR	11
NMTM-EXCELLENT	4
NMTM-P90	4
VMF	1
Total	134

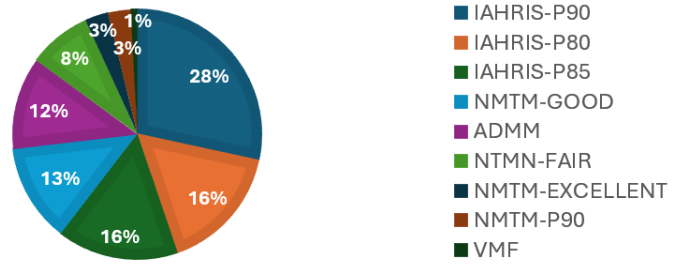


Figura 53. Métodos más seleccionados (Suma de RCEsel (1) y RCEsel (2))

-La Damb es mayor en los escenarios seleccionados que en el RCEmin (22-27), ya que este no supera en ningún caso el valor de 0,5.

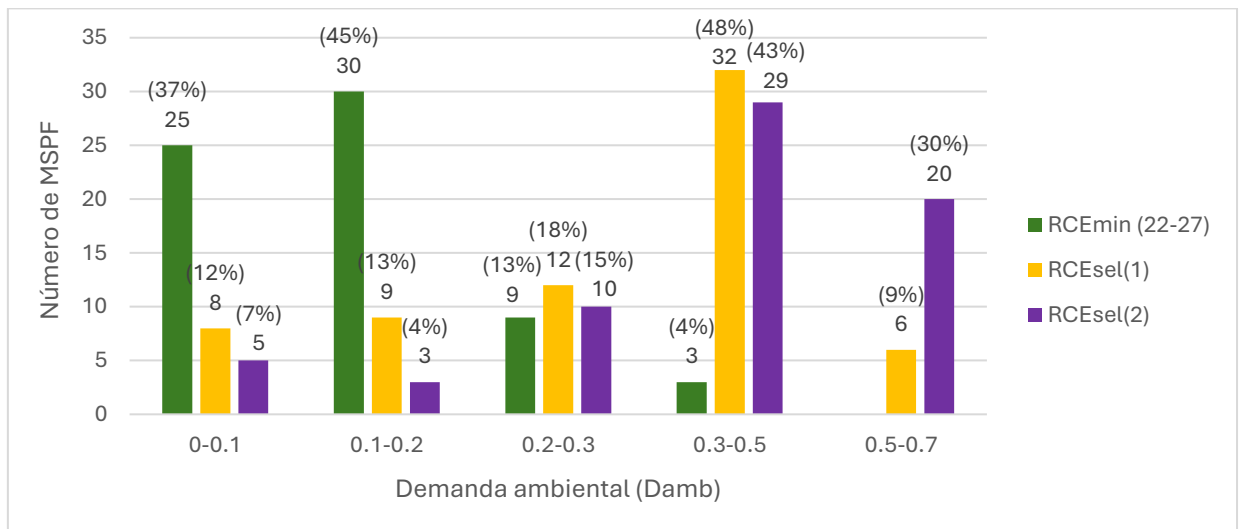


Figura 54. Comparación de la demanda ambiental (RCEmin (22-27), RCEsel(1) y RCEsel(2))(ver pág 39).

-Los valores de la eficiencia son en general menores en los escenarios de RCEmin (22-27), siendo siempre inferiores a 1.

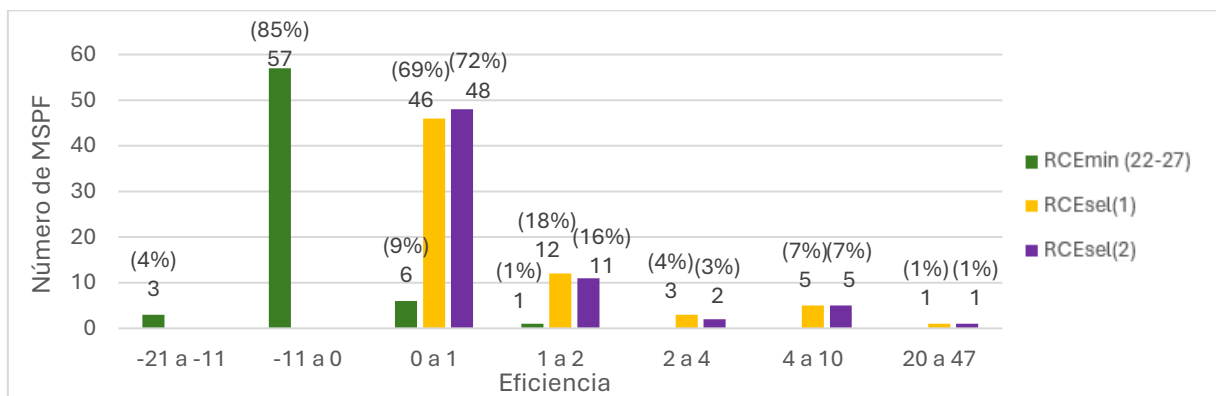


Figura 55. Comparación de la eficiencia (RCEmin (22-27), RCEsel (1) y RCEsel (2)) (ver definición de eficiencia, pág. 39).

-Los valores de puntuación son muy bajos para RCEmin (22-27), teniendo muchas MSPF puntuaciones negativas. Sin embargo, el RCEsel (2) obtiene una puntuación de entre 60 y 70 en 39 de las 67 MSPF.

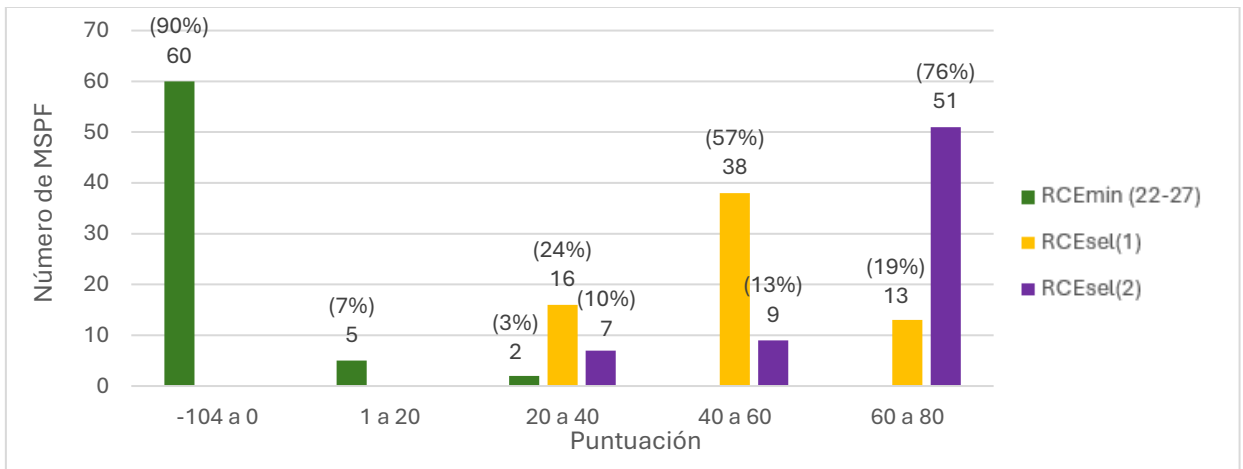


Figura 56. Comparación de la puntuación (RCEmin (22-27), RCEsel (1) y RCEsel (2)).

5.3.5. R_PRE+RCEsel

En este último apartado se recoge el efecto de la implementación de los escenarios seleccionados, y se compara con el del RCEmin (22-27). Esto se hace mediante la variable de cambio significativo obtenida en la FASE 5.2.

-Se obtiene que implementando el RCEmin (22-27), solo hay cambio significativo en más de tres meses en 3 MSPF, mientras que en 47 el cambio es igual a 0.

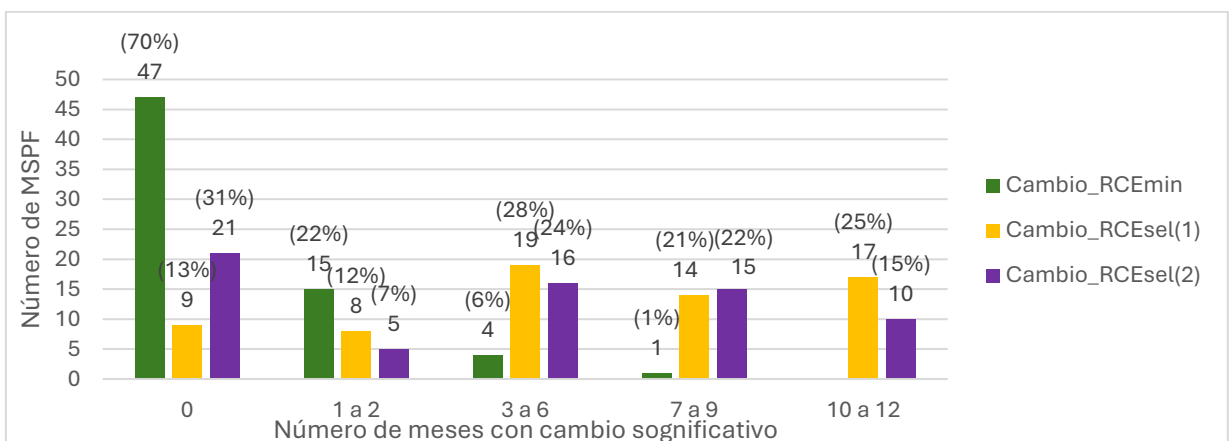


Figura 57. Comparación del cambio significativo tras la implementación (R_PRE+RCEmin, R_PRE +RCEsel(1) y R_PRE +RCEsel(2)) (ver definición de cambio significativo, pág 31).

6. DISCUSIÓN

Para abordar esta discusión de una manera secuencial se ha considerado adecuado seguir una estructura similar a la presentada en el trabajo y que se articula en base a unas cuestiones clave:

- El RCEmin (22-27) ¿es hidrológicamente asumible?
- El RCEmin (22-27) ¿tiene capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica?
- Para estimar RCEmin ¿qué método es recomendable?

6.1. EL RCEmin (22-27) ¿Es hidrológicamente asumible?

En esta fase quiere comprobarse si los valores que actualmente presentan los planes hidrológicos como caudales mínimos ecológicos son coherentes con los mínimos observados en la serie natural.

Para contestar a esa pregunta, en este trabajo se tomó, en cada Demarcación, el régimen natural utilizado por la Confederación para estimar los recursos disponibles. Con la serie corta (1980-81/2017-18) de dicho régimen natural, se obtuvieron, para cada mes, dos años ficticios⁶: RNmin, generado con la aportación mínima absoluta de cada mes, y RNP95, construido con la aportación correspondiente al percentil de excedencia del 95% de cada mes⁷.

El RNmin es el caso potencial más extremo de aportaciones mínimas mensuales que podría producirse en un año hidrológico natural, un caso con una probabilidad real de presentarse muy baja porque, como se ha señalado, se construye con los mínimos absolutos de cada mes para la serie corta en régimen natural.

Teniendo ese RNmin como umbral mínimo a considerar, se asumió que un RCEmin (22-27) que tuviese tres o más meses con valores inferiores a RNmin no podía ser considerado como hidrológicamente asumible: no puede otorgarse el calificativo de ecológico a un

⁶ Son ficticios porque, el RNmin del mes i, se presentó en la serie de referencia en un año hidrológico que no tiene por qué ser el mismo que en el que se presentó el RNmin del mes j. Sirve ese argumento también para RNP95.

⁷Conviene recordar que en este trabajo se han utilizado percentiles de excedencia del 95, 90 y 85%, que corresponden respectivamente a los de no excedencia del 5, 10 y 15%.

régimen de caudales mínimo que asume como válido el mantener durante tres meses o más valores inferiores a los mínimos absolutos de la serie en régimen natural de referencia. Y no puede aceptarse el calificativo de ecológico porque es evidente que un régimen que presente esas características (tres o más meses con valores inferiores a RNmin), y que pueda ser mantenido en el tiempo, no es compatible con una integridad mínima del ecosistema fluvial, tanto en componentes como en procesos y funciones.

Para los que pasaban ese primer filtro (es decir, tenían menos de tres meses con RCEmin (22-27) \leq RNmin), se les pasaba otro filtro: Si el RCEmin (22-27) tenía 6 o más meses con valores inferiores a RNP95 tampoco podía ser considerado como hidrológicamente asumible, ya que mantener seis o más meses un régimen hidrológico por debajo de ese estricto umbral no se corresponde con ninguna realidad hidrológica por extrema que sea en régimen natural.

De las 67 masas estudiadas, 57 no pasaron el primer filtro y una más tampoco pasó el segundo. En definitiva, 58 masas (el 87% del total de las analizadas) presentan un RCEmin que no es hidrológicamente asumible. Estas abrumadoras cifras son aún más contundentes y firmes cuando 46 de esas 57 masas que no pasaron el primer filtro (un 81%) tienen más de seis meses en los que el RCEmin (22-27) es menor que el RNmin correspondiente.

Se trata, sin duda, de un resultado desconcertante, que requiere un análisis detallado: ¿cómo es posible que se establezcan unos RCEmin tan alejados, a la baja, de un ficticio y extremo RNmin?

Para contestar a esta pregunta se han evaluado dos posibles fuentes de error. La primera, vinculada a los datos en régimen natural utilizados por las Confederaciones para generar escenarios de RCEmin. La segunda relacionada con las metodologías empleadas (de base hidrológica, de simulación de hábitat y/o de su extrapolación).

Datos en régimen natural utilizados

Serie en régimen natural utilizada

- En este trabajo:
 - La fuente de datos que la correspondiente Confederación declara en su Plan de cuenca: SIMPA, SIMPA con modificaciones a partir de ajustes llevados a cabo por la Confederación y, en el caso de la Confederación del Júcar, PATRICAL.
 - La serie corta disponible: 1980-81/2017-18
- En los Planes de cuenca de las demarcaciones intercomunitarias, revisando el anejo correspondiente al régimen de caudales ecológicos, se constata que:
 - Se ha trabajado con la serie corta, salvo en la CH Guadiana, que contempla la serie 1960-70/1988-89.
 - El periodo de la serie corta considerado no es el mismo en todas las Confederaciones. Así, por ejemplo, en Miño-Sil la serie llega sólo hasta 2012-13, mientras que en Júcar la serie va desde 1986-87 hasta 2005-06, y en el Ebro también cierra la serie en 2006.

Restitución a diario

- En este trabajo no se ha planteado la restitución a régimen diario:
 - En primer lugar, porque el RCEmin se establece a una escala temporal mensual (salvo en Miño-Sil y Tajo que se fija trimestralmente), y si el RCEmin se fija como un valor a mantener constante a lo largo de cada mes, lo razonable es utilizar la aportación mensual (o su equivalente caudal medio mensual), como referencia, y no los diarios de cada mes.
 - En segundo lugar, porque la restitución a diario, además de ser incongruente con la escala temporal a la que se fija el RCEmin, tiene importantes incertidumbres, ya que no es fácil contar con un número suficiente y representativo de series diarias registradas en régimen natural, dificultad que crece a medida que nos alejamos de las cabeceras y los niveles de alteración del régimen son cada vez mayores y desde fechas muy anteriores al inicio de la serie corta.
 - En tercer lugar, hay que señalar que considerar tanto el RNmin como el RNP95 a escala diaria frente a la mensual implica que los valores obtenidos a escala diaria serán menores o iguales que los que se obtengan considerando las aportaciones mensuales sin restituir a diario. En el *ANEJO V: Comparación de percentiles de excedencia 95% y 85%: caudales medios mensuales vs. caudales medios diarios*, se recogen los resultados comparativos de usar régimen natural mensual o régimen

natural restituido a diario. Se aplica sólo en dos masas y, por tanto, esta comparación sólo se presenta a título ilustrativo, ya que sería necesario ampliar considerablemente la muestra para poder dar una validez generalizada a esta hipótesis a partir de resultados empíricos.

- En los Planes de cuenca de las demarcaciones intercomunitarias:
 - Siguiendo lo establecido en la IPH, las series en régimen natural provengan de SIMPA o de PATRICAL, se han restituido a diario, salvo en la demarcación del Tajo.
 - En el Anejo 5 (Caudales ecológicos) del Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Tajo se recoge textualmente:
 - *Para este tercer ciclo de planificación se ha optado por no procesar la serie de aportaciones medias mensuales para tener una estimación de sus valores diarios. El motivo es que se ha llegado a la conclusión de que, si bien este ajuste puede ser aceptable en algunas masas con escasas presiones que cuentan además con estaciones de aforo (masa de agua patrón) o que hidrológicamente soportan una semejanza con masas de agua que sí la tienen, es más discutible que pueda aplicarse ese patrón en la mayoría de las masas de agua, donde cualquier semejanza hidrológica es incierta. Así, en todos los ejes medianos y grandes de los ríos, además de en numerosas masas de agua de cabecera, esta asociación con una masa de agua patrón es problemática. Por ello, se ha decidido limitar el nuevo estudio de los métodos hidrológicos a aquellas metodologías que trabajen con valores medios mensuales.*

Como se ha puesto en evidencia, hay diferencias entre las características de las series en régimen natural utilizadas en este trabajo y por las distintas Confederaciones. Sin embargo, el hecho de considerar series con períodos distintos es, sin duda, un factor de variabilidad, pero en modo alguno puede explicar el resultado objeto de esta discusión.

Una causa que explique, al menos en parte, ese porcentaje tan alto de masas para las que el RCEmin resulta hidrológicamente no admisible, es considerar la restitución a diario por:

- Las incertidumbres que esa restitución conlleva
- El uso de valores diarios para estimar percentiles de no excedencia bajos que dan caudales inferiores a los que se obtendrían usando valores medios mensuales.

- La incongruencia que supone utilizar caudales diarios para estimar caudales mínimos que deben ser mantenidos durante un mes o en algún caso un trimestre.

Metodologías empleadas por las Confederaciones

En la *Tabla 9* se muestra, de manera muy resumida, los principales aspectos de las metodologías empleadas en el tercer ciclo de planificación para estimar RCEmin. Esta tabla no es más que una primera aproximación de un análisis que, por su complejidad y trascendencia, requeriría un trabajo monográfico de considerable envergadura que, evidentemente, queda fuera del alcance del objetivo de este trabajo.

Siendo conscientes de esa limitación, se entiende que la información presentada es suficiente para aportar referencias que respaldan el hecho de la notable variabilidad de criterios utilizados por las distintas Confederaciones.

Es importante señalar que sólo en los Planes de cuenca de Tajo y Guadiana es posible saber de manera inequívoca qué metodología se ha utilizado en cada masa de agua.

Tabla 9. Metodologías empleadas para la estimación del RCEmin en el 3^{er} ciclo de planificación hidrológica (2022-2027).

Demarcación	Consideraciones respecto a las metodologías empleadas
Miño-Sil	Utilizan los resultados de la aplicación de métodos de simulación de hábitat en 24 masas para extrapolar a 253 (Página 6 y siguientes del Anexo 4.8: Cálculo de caudales mínimos por métodos hidrobiológicos).
Duero	Para el tercer ciclo mantiene los valores del segundo en aproximadamente el 50% de las masas y el resto los modifica, pero a partir de consideraciones ajenas a metodologías de estimación. (Página 14 del Anejo 4: Caudales ecológicos).
Tajo	Se han utilizado de manera casi generalizada los métodos de base hidrológica para estimar RCEmin; en particular el criterio de los percentiles de no excedencia del 5% y del 15%. En el eje del Tajo, entre Aranjuez y Azután, el método de simulación de hábitat ha tenido un papel relevante. (Páginas 10 y 11 del Anejo 5: Caudales ecológicos)

Demarcación	Consideraciones respecto a las metodologías empleadas
Guadiana	<p>Para las 241 masas de la categoría ríos, en 154 masas (64% del total), ha utilizado el percentil de no excedencia del 10%. En otras 35 el percentil de no excedencia del 20% de la escorrentía subterránea, en 45 otras metodologías de base hidrológica y en 5 se ha asignado con un criterio de semejanza hidrológica. (Página 21 del Anejo 6: Requerimiento de caudales ecológicos).</p> <p>En el Apéndice 1, en el informe de propuesta de caudales mínimos ecológicos por combinación de métodos hidrológicos e hidrobiológicos, a partir de la página 22 se puede apreciar fácilmente cómo, en general, los métodos de base hidrológica son más exigentes en caudal que los de simulación de hábitat.</p>
Guadalquivir	<p>Se aplica el método de simulación de hábitat en 32 masas (7% del total de masas) y se extrapolan los resultados sin hacer ninguna comparación con valores de referencia del régimen natural. (Páginas 11 a 15 del Anejo 4: Restricciones al uso, prioridades de uso y asignación de recursos.)</p>
Segura	<p>Para el tercer ciclo no se han desarrollado estudios específicos y no se plantean cambios significativos respecto a lo establecido en el ciclo anterior (Páginas 65 y 76 del Anejo V: Caudales ecológicos).</p>
Júcar	<p>Utiliza métodos de simulación de hábitat y de base hidrológica (percentil 5%-15%). Cuando el de base hidrológica da valores mayores que el de simulación de hábitat se decanta por el caudal correspondiente al 80% del HPU. Si es mayor el de simulación de hábitat, el valor considerado es el caudal correspondiente al 30% del HPU. (Páginas 25 y 34 del Anejo 5: Régimen de caudales ecológicos)</p>
Ebro	<p>Para el tercer ciclo hacen un importante trabajo de simulación de hábitat. No. Los valores de RCEmin se establecen a partir de puntos de referencia con simulación de hábitat, contrastando con resultados de metodologías de base hidrológica, pero no hay una referencia explícita a los métodos de base hidrológica utilizados ni los criterios usados para el contraste de resultados y la toma final de decisión. (Páginas 11 a 16 del Anejo 5: Caudales ecológicos)</p>

Como conclusión más importante, puede señalarse que, salvo en las demarcaciones del Guadiana y del Tajo, en el resto no hay una referencia que permita contrastar el RCEmin con el percentil de no excedencia que en RN les correspondería a esos caudales. Sin embargo, en el caso del Tajo se establece RCEmin con rango temporal trimestral. En consecuencia, en las masas en las que se ha aplicado el criterio de los percentiles de no excedencia del 5% o 15%, tampoco hay información para vincular el RCEmin con el percentil de no excedencia que en RN les correspondería a cada mes.

En definitiva, falta, de manera generalizada, un referente que de manera objetiva y transparente sitúe el RCEmin establecido en cada masa y para cada mes con un percentil de no excedencia en RN para ese mes y esa masa de agua. Como referentes podrían utilizarse los manejados en este trabajo: RNmin de la serie para cada mes y el percentil de no excedencia del 5% de la serie en RN de cada mes (se corresponde con el percentil de excedencia del 95%).

6.2. EL RCEmin (22-27) ¿tiene capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica?

En todas las masas analizadas, la alteración hidrológica en el rango del percentil de no excedencia del 10% (excedencia del 90%) es notable (véase epígrafe 5.2.2), por lo que un RCEmin adecuado debería reducir esa alteración.

Sin embargo, y en congruencia con el resultado antes discutido, en 60 de las 67 masas (90%) el RCEmin no tiene capacidad potencial de reducir la alteración. De las 7 en las que esa capacidad si se manifiesta, 3 pertenecen a la Demarcación del Guadiana en la que, como se ha señalado anteriormente, se ha utilizado de manera generalizada para establecer RCEmin un método de base hidrológica (percentil de no excedencia 10% a escala mensual). Para las Demarcaciones del Ebro, Júcar y Guadalquivir en el 100% de las masas estudiadas el RCEmin no tiene capacidad potencial para reducir la alteración, porcentaje que en el Duero es del 94%, en Miño-Sil del 60%, en Guadiana del 50% y en el Tajo del 88%.

Este último valor llama la atención, teniendo en cuenta que en este tercer ciclo el criterio usado por la Confederación del Tajo para generar RCEmin ha sido utilizar de manera generalizada un método de base hidrológica (percentil de no excedencia del 5 o del 15%). Sin embargo, de las 8 masas analizadas en el Tajo sólo en 3 se ha utilizado un percentil

del 15% y de ellas, sólo en una se acredita capacidad potencial para reducir la alteración. Esta circunstancia es más que probable que esté condicionada por el hecho de que en el Tajo el RCEmin se establece trimestralmente y como la evaluación de la capacidad potencial para reducir la alteración se hace mensualmente, sea ese desajuste temporal el factor que limite la eficacia del RCEmin.

6.3. Para estimar RCEmin ¿qué método es recomendable?

En este trabajo se han utilizado 4 métodos de base hidrológica que han permitido generar para cada masa 9 escenarios de RCEmin: VMF, NMTM-P90, NMTM-EXCELLENT, NMTM-FAIR, NMTM-GOOD, ADMM, IAHRIS-P80, IAHRIS-P85, IAHRIS-P90.

Los resultados han puesto de manifiesto que no debería utilizarse un único método ya que, en función de las peculiaridades del régimen de cada masa y de su tipo de alteración, el RCEmin más adecuado puede provenir de métodos distintos.

Es, por tanto, muy recomendable utilizar un abanico amplio de métodos (tanto con base hidrológica como de simulación de hábitat), y aplicar a los escenarios de RCEmin que resulten:

- Una prueba que acredite su adecuación en magnitud, estacionalidad y variabilidad a percentiles de no excedencia bajos⁸ (por ejemplo, P10%) del régimen natural
- Una cuantificación del recurso necesario para atender ese RCEmin
- Una estimación de la capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica.

Para aplicar la secuencia descrita, puede tomarse como referencia la propuesta utilizada en este trabajo.

La aplicación de este primer banco de pruebas permitirá al gestor hacer una selección del escenario a considerar para, posteriormente aplicar un segundo banco de pruebas:

- Integrar los valores obtenidos en las masas del eje fluvial para garantizar su congruencia.
- Evaluar su repercusión potencial sobre los usos del agua.

⁸ Bajos porque la componente RCEmin del régimen de caudales ecológicos es precisamente en los percentiles de no excedencia bajos donde tiene su marco de acción.

Evidentemente este doble banco de pruebas de cinco pasos debería aplicarse a cualquier escenario que opte a ser establecido como RCEmin, con independencia del método que sirvió para generarlo.

Además, la aplicación de este protocolo será, sin duda, un elemento de singular valor a la hora de desarrollar el proceso de concertación porque ofrece una valoración objetiva de la integridad hidrológica del RCEmin, de su capacidad para producir mejoras significativas en el régimen de caudales (cuando, como es lo habitual, se trate de masas hidrológicamente alteradas), y de las repercusiones de su implantación.

7. CONCLUSIONES

- 58 de los 67 escenarios de RCEmin (22-27) analizados (87%) tienen tres meses o más con caudales inferiores a los mínimos absolutos de la serie en régimen natural. Además, 46 de esas 57 masas (un 81%) tienen más de seis meses en los que el RCE (22-27) es menor que el RNmin correspondiente.
- No hay duda en afirmar que los RCEmin (22-27) analizados **no** son, en un porcentaje muy alto, hidrológicamente asumibles. Ciertamente que esta afirmación sólo puede respaldarse para los escenarios analizados, pero la variabilidad de masas consideradas, tanto por su distribución geográfica como por su tipología, permiten asumir que este inquietante resultado puede esperarse en muchas masas de agua.
- Para evitarlo, es necesario que cualquier escenario de RCEmin que se proponga cumpla que sus valores mensuales estén por encima de un umbral establecido a partir de las series en régimen natural, umbral que, como mínimo, debería ser RNmin, aunque sería recomendable aspirar a fijarlo en RNP5 (percentil de no excedencia del 5% de la serie de aportaciones mensuales o sus correspondientes caudales medios mensuales).
- El escenario de RCEmin debe establecerse a escala mensual y, en congruencia, el régimen natural a utilizar para su estimación y/o validación también debe utilizarse a esa escala.
- Cuando el régimen natural proviene de una modelización que lo genera a escala mensual, que es la situación más habitual, no debe abordarse su restitución a diario. En el caso muy poco habitual de disponer de una serie en régimen natural a escala diaria, deberían obtenerse las correspondientes aportaciones mensuales y trabajar con esa serie a escala mensual.
- La variabilidad de características hidrológicas y de alteración de las masas de agua hacen que no sea aceptable utilizar un único método para generar escenarios de RCEmin.
- Los escenarios así generados deben someterse a un banco de pruebas que, como mínimo, permita:
 - Evaluar su adecuación en magnitud, estacionalidad y variabilidad a percentiles de no excedencia bajos (por ejemplo, P10%) del régimen natural.
 - Caracterizar de manera objetiva su capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica de la masa para la que se establece.
- Por último, como consecuencia de lo anteriormente expuesto, y como conclusión más importante, hay que señalar que la estimación de la componente de mínimos del régimen de caudales ecológicos recogida en la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) requiere una revisión en profundidad.

8. PROPUESTA PARA LA MEJORA DE LA INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

En la *Tabla 10* se recogen las propuestas de mejora que se sugieren para su consideración a la luz de los resultados obtenidos en este trabajo, propuestas que se focalizan en la componente de caudales mínimos, ya que sólo este componente es el que ha sido analizado.

Cada una de las propuestas que se reseñan se redacta como una referencia que el legislador puede tener en cuenta a la hora de hacer una redacción definitiva para su incorporación al articulado de una futura modificación de la IPH.

Tabla 10. Propuestas de mejora.

EPÍGRAFE IPH	TEXTO IPH	PROPUESTA
3.4.1.2 Ámbito espacial	La determinación del régimen de caudales ecológicos de una masa de agua deberá realizarse teniendo en cuenta los requerimientos ambientales de las masas de agua asociadas a ella, con el fin de definir un régimen consecuente con los objetivos definidos en el apartado 3.4.1.1.	...consecuente con los objetivos definidos en el apartado 3.4.1.1. <i>y con el régimen natural de caudales.</i>
3.4.1.4.1.1 Distribución temporal de caudales mínimos	Se definirá una distribución temporal de caudales mínimos. Para ello se seleccionarán periodos homogéneos y representativos en función de la naturaleza hidrológica de la masa de agua y de los ciclos biológicos de las especies autóctonas, identificándose al menos dos periodos distintos dentro del año.	Se definirá una distribución temporal de caudales mínimos <i>a escala mensual</i> . Para ello se seleccionarán periodos homogéneos y representativos en función de la naturaleza hidrológica de la masa de agua y de los ciclos biológicos de las especies autóctonas, identificándose al menos dos periodos distintos dentro del año.
3.4.1.4.1.1.1 Métodos hidrológicos	Para obtener la distribución temporal de caudales mínimos, los métodos hidrológicos diferenciarán, al menos, dos periodos hidrológicos homogéneos y representativos mediante la aplicación de alguno de los siguientes criterios: a) La definición de variables de centralización móviles anuales, de orden único o variable. En el caso de orden único, éste se identificará por su significación hidrológica (21 días consecutivos, por ejemplo), mientras que, en el caso de orden variable, se tendrán en cuenta posibles discontinuidades del ciclo hidrológico para su identificación.	Se suprime todo el texto y se sustituirá por otro que refleje lo siguiente: <i>Para obtener la distribución mensual de caudales mínimos, se deberán utilizar al menos tres métodos de base hidrológica publicados en textos científicos de calidad reconocida, incluyendo la definición de percentiles de no excedencia entre el 5 y el 15% obtenidos a partir de las curvas de caudales medios mensuales clasificados. La serie hidrológica utilizada deberá caracterizar el régimen natural y se definirá a escala mensual. Dicha serie será la misma que la utilizada en el Plan de cuenca para estimar los recursos hídricos disponibles en régimen natural. Tendrá, al menos, 20 años,</i>

EPÍGRAFE IPH	TEXTO IPH	PROPUESTA
	<p>b) La definición de percentiles entre el 5 y el 15% a partir de la curva de caudales clasificados, que permitirán definir el umbral habitual del caudal mínimo.</p> <p>Estos criterios se aplicarán sobre una serie hidrológica representativa de al menos 20 años, preferentemente consecutivos, que presente una alternancia equilibrada entre años secos y húmedos.</p> <p>La serie hidrológica utilizada deberá caracterizar el régimen natural y, siempre que sea posible, se definirá a escala diaria. Para la obtención de dicha serie podrán aplicarse las siguientes metodologías:</p> <p>a) Modelización hidrológica de series en régimen natural a escala diaria.</p> <p>b) Modelización hidrológica de series en régimen natural a escala mensual y posterior aplicación del patrón de distribución diario correspondiente a estaciones de control en régimen natural o cuasi-natural situadas en tramos pertenecientes al mismo tipo fluvial.</p> <p>Para la caracterización de la distribución temporal de caudales mínimos se tendrá en cuenta la clasificación en tipos establecida en 2.2.1.3. 1</p>	<p><i>preferiblemente consecutivos, y siempre posteriores a 1980 (dentro, por tanto, de la serie corta).</i></p> <p><i>Para que un escenario de caudales mínimos pueda ser considerado como aceptable deberá verificar que:</i></p> <p><i>a) Los caudales mínimos de cada mes sean superiores al mínimo absoluto de la serie de caudales medios mensuales en régimen natural del mes correspondiente.</i></p> <p><i>b) Sólo podrán admitirse valores de caudales mínimos inferiores al percentil de no excedencia del 5% de la serie de caudales medios mensuales en régimen natural, si se aporta una información objetiva y contrastada que lo justifique, y en ningún caso en más de seis meses.</i></p>

EPÍGRAFE IPH	TEXTO IPH	PROPUESTA
<p>3.4.1.4.1.1.3 Obtención de la distribución de caudales mínimos</p>	<p>La distribución de caudales mínimos se determinará ajustando los caudales obtenidos por métodos hidrológicos al resultado de la modelación de la idoneidad del hábitat, de acuerdo con alguno de los siguientes criterios:</p> <p>a) Considerar el caudal correspondiente a un umbral del hábitat potencial útil comprendido en el rango 50-80% del hábitat potencial útil máximo.</p> <p>b) Considerar el caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva de hábitat potencial útil-caudal.</p> <p>En el caso de que la curva de hábitat potencial sea creciente y sin aparentes máximos, podrá adoptarse como valor máximo el hábitat potencial útil correspondiente al caudal definido por el rango de percentiles 10-25 % de los caudales medios diarios en régimen natural, obtenido de una serie hidrológica representativa de, al menos, 20 años.</p> <p>La distribución de caudales mínimos obtenida de esta forma se deberá validar mediante el análisis de su influencia sobre la vegetación de ribera. Para ello se recomienda el uso de indicadores de estado de la vegetación de ribera que permitan relacionar las características del régimen de caudales con los atributos principales de las formaciones vegetales ribereñas.</p>	<p>La distribución de caudales mínimos se determinará ajustando los caudales obtenidos por métodos hidrológicos al resultado de la modelación de la idoneidad del hábitat, de acuerdo con alguno de los siguientes criterios:</p> <p><i>Todos los escenarios de caudales mínimos obtenidos, con independencia del método utilizado (hidrológico o simulación de hábitat), deben someterse a un banco de pruebas que, como mínimo, permita:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>a) Garantizar que en ningún mes el RCEmin es menor que el RNmin correspondiente.</i> <i>b) Garantizar que el RCEmin no presenta de seis meses o más con valores menores que RNP5%</i> <i>c) Evaluar su adecuación en magnitud, estacionalidad y variabilidad a percentiles de no excedencia bajos (por ejemplo, P10%) del régimen natural. Para esta evaluación pueden utilizarse los siguientes criterios recogidos en ANEJO I (En ese anejo se detallan los criterios que se han utilizado para poner “nota” a los escenarios. Estos criterios pueden sustituirse por otros que permitan evaluar los mismos aspectos y siempre justificando su elección.</i> <i>d) Caracterizar de manera objetiva su capacidad potencial para reducir la alteración hidrológica de la masa para la que se establece. Esta caracterización sólo será posible en aquellas masas para las que se disponga de una serie suficientemente larga de caudales diarios en régimen real antes de que se hubiese implementado ningún régimen de caudales mínimos.</i>

EPIGRAFE IPH	TEXTO IPH	PROPUESTA
		<p><i>Si esa serie está disponible, se genera la serie ficticia que resultaría de la implementación del régimen de mínimos.</i></p> <p><i>La comparación de la serie original y la implementada permite obtener indicadores de cambio: número medio de días al año en los que ha sido necesario implementar el caudal mínimo, número medio de meses en los que la alteración hidrológica se ha reducido, entendiendo por alteración cuando el caudal medio mensual está fuera del rango $[1.5 \cdot RNP90; \text{Max}(0.5 \cdot RNP90; RNmin)]$ y cualquier otro adicional que justificadamente se establezca.</i></p> <p><i>Si el escenario seleccionado después de pasar por el banco de pruebas resulta tener una génesis hidrológica y presenta valores menores que el escenario generado con simulación del hábitat:</i></p> <p>a) Considerar el caudal correspondiente a un umbral del hábitat potencial útil comprendido en el rango 50-80% del hábitat potencial útil máximo.</p> <p>b) Considerar el caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva de hábitat potencial útil-caudal.</p> <p>En el caso de que la curva de hábitat potencial sea creciente y sin aparentes máximos, podrá adoptarse como valor máximo el hábitat potencial útil correspondiente al caudal definido por el rango de percentiles 10-25 % de los caudales medios <i>mensuales</i> en régimen natural, obtenido de una serie hidrológica representativa de, al menos, 20 años.</p>

EPÍGRAFE IPH	TEXTO IPH	PROPUESTA
		<p><i>Si el escenario seleccionado presenta valores mayores que el escenario generado con simulación del hábitat se establecerá preferentemente el de génesis hidrológica, y podrá aplicarse el obtenido por simulación de hábitat sólo si se justifica convenientemente y en ningún caso si para obtenerlo se ha utilizado algún procedimiento de extrapolación</i></p> <p>La distribución de caudales mínimos obtenida de esta forma se deberá validar mediante el análisis de su influencia sobre la vegetación de ribera. Para ello se recomienda el uso de indicadores de estado de la vegetación de ribera que permitan relacionar las características del régimen de caudales con los atributos principales de las formaciones vegetales ribereñas. Este párrafo puede eliminarse, ya que con las condiciones establecidas en el nuevo texto del epígrafe 3.4.1.4.1.1.1 y las recogidas en este, ningún escenario de caudales mínimos podrá ser propuesto sin acreditar su coherencia con los percentiles de no excedencia más bajos del régimen natural de caudales, coherencia que garantiza el mantenimiento de unas condiciones hidrológicas mínimas adecuadas para la persistencia de la vegetación de ribera.</p>

REFERENCIAS

- De la Iglesia Delgado, S. (2021). *Métodos hidrológicos para la estimación del régimen de caudales ecológico: actualización y evaluación. Aplicación a masas de agua de la cuenca hidrográfica del Duero afectadas por regulación*. Trabajo fin de Máster. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Fernández Yuste, T., Martínez, C., et al. (2022). *Caudales ecológicos. Un patrimonio esencial para la biodiversidad de España y Portugal*. Universidad Politécnica de Madrid. WWF España.
- Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional. (2001, 6 de julio). *Boletín Oficial del Estado*, núm. 161, pp. 24894-24920.
- Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. (1985, 8 de agosto). *Boletín Oficial del Estado*, núm. 189, pp. 24008-24024.
- Ley 46/1999, de 13 de diciembre, de modificación de la Ley 29/1985 de Aguas. (1999, 14 de diciembre). *Boletín Oficial del Estado*, núm. 298, pp. 43088-43090.
- Ley de 20 de febrero de 1942 por la que se regula el fomento y conservación de la pesca fluvial. (1942, 21 de febrero). *Boletín Oficial del Estado*, núm. 53, pp. 1512-1514.
- Li, C., & Kang, L. (2014). A new modified Tennant method with spatial-temporal variability. *Water Resources Management*, 28(14), 4911-4926. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0746-4>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2019). *Protocolo para la caracterización hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos*. Madrid, España: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/protocolo-caracterizacion-hmf-abril-2019_tcm30-496596.pdf.

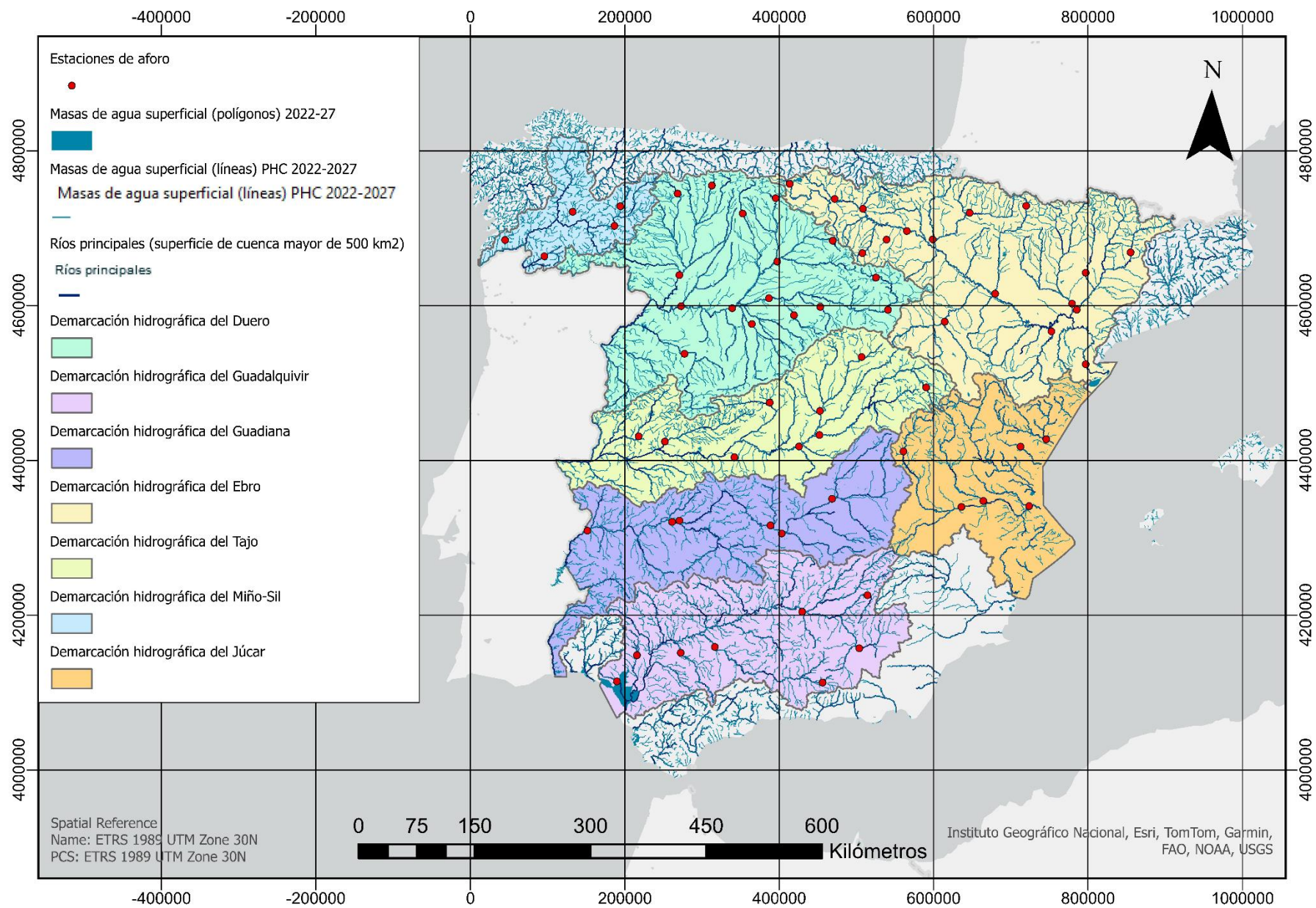
- Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. (2008, 11 de septiembre). *Boletín Oficial del Estado*, núm. 222, pp. 36684-36721.
- Pastor, A. V., et al. (2014). Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 5041-5059.
- Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de cuenca. (1998, 25 de julio). *Boletín Oficial del Estado*, núm. 178, pp. 25152-25154.
- Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro. (2023, 10 de febrero). *Boletín Oficial del Estado*, núm. 35, pp. 19510-21315.
- Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales. (2016, 10 de diciembre). *Boletín Oficial del Estado*, núm. 298, pp. 86624-86658.
- Real Decreto 849/1986, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico. (1986, 12 de abril). *Boletín Oficial del Estado*, núm. 103, pp. 15207-15230.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. (2001, 24 de julio). *Boletín Oficial del Estado*, núm. 176, pp. 26791-26817.
- Shaeri Karimi, S., Yasi, M., & Eslamian, S. (2012). Use of hydrological methods for assessment of environmental flow in a river reach. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3), 549-558. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0062-6>

- Suwal, N., et al. (2020). Environmental flows assessment in Nepal: The case of Kaligandaki River. *Sustainability*, 12(21), 8766. <https://doi.org/10.3390/su12218766>
- Tennant, D. L. (1976). Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *American Fisheries Society*, 1(4), 6-10.
- Tessman, S. (1980). Environmental assessment. Technical Appendix E. In *Reconnaissance elements of the Western Dakotas Region of South Dakota Study*. Water Resources Research Institute.

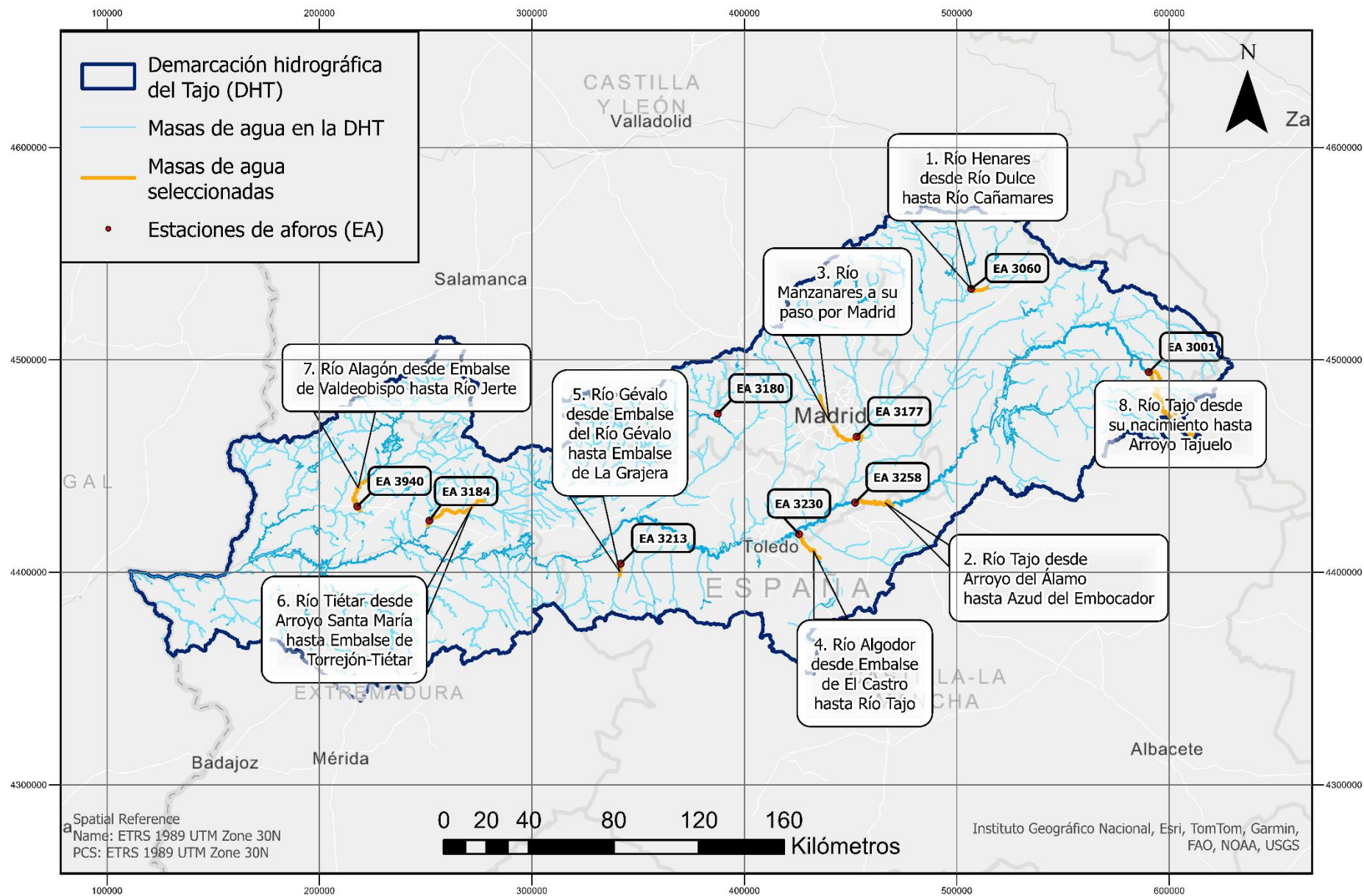
ANEJOS

ANEJO I: Mapas de localización

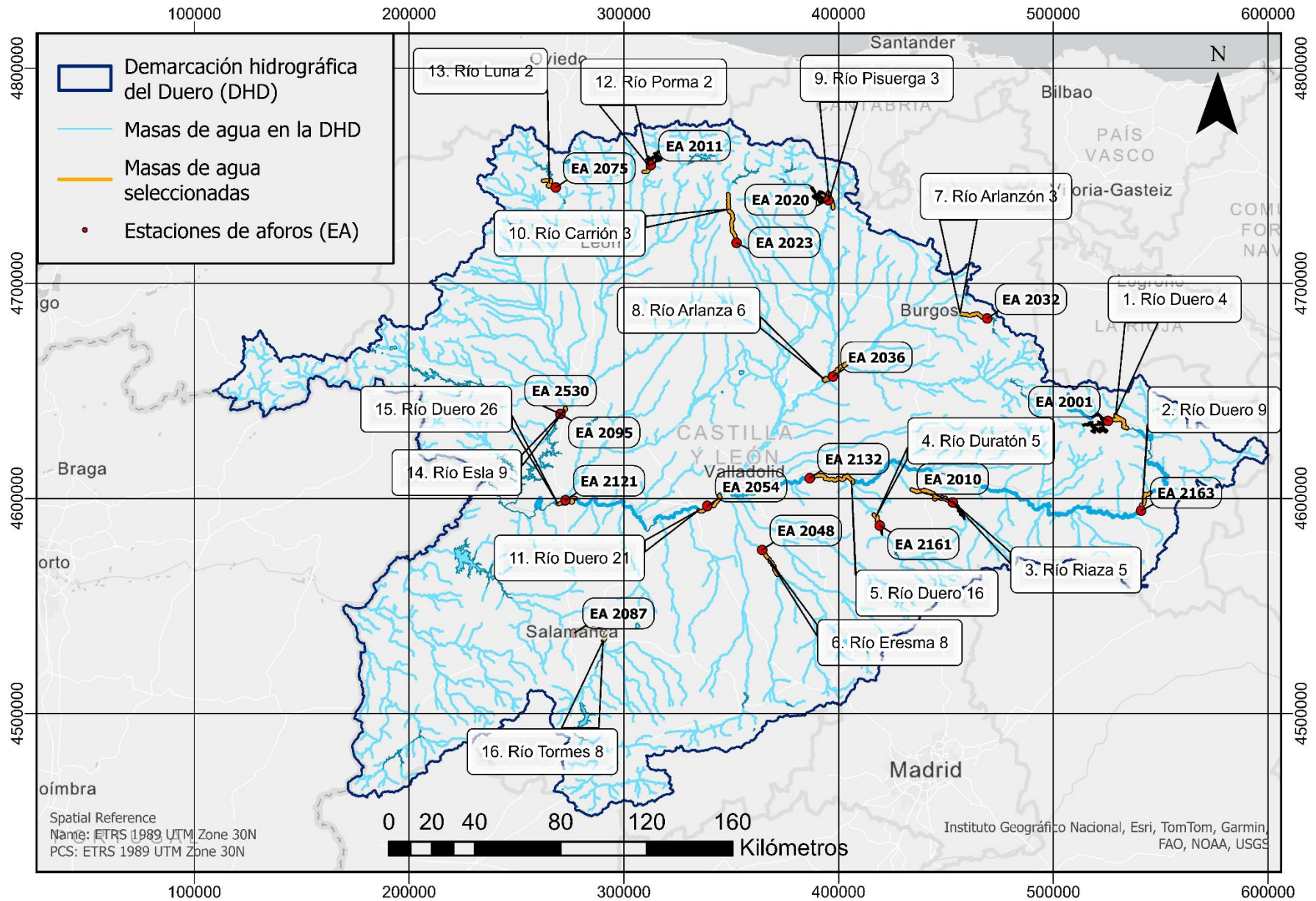
MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES DE AFOROS SELECCIONADAS



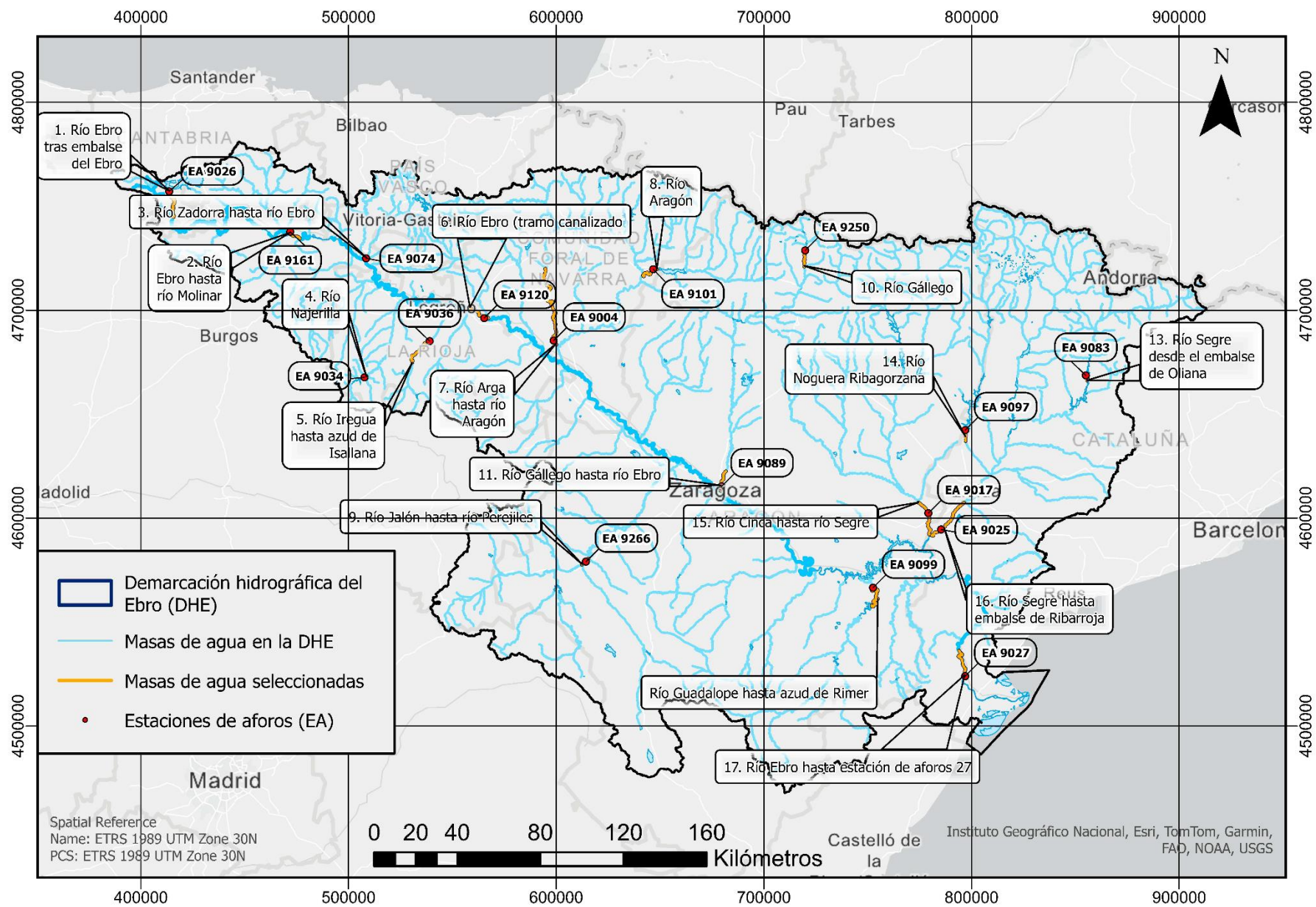
MAPA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO



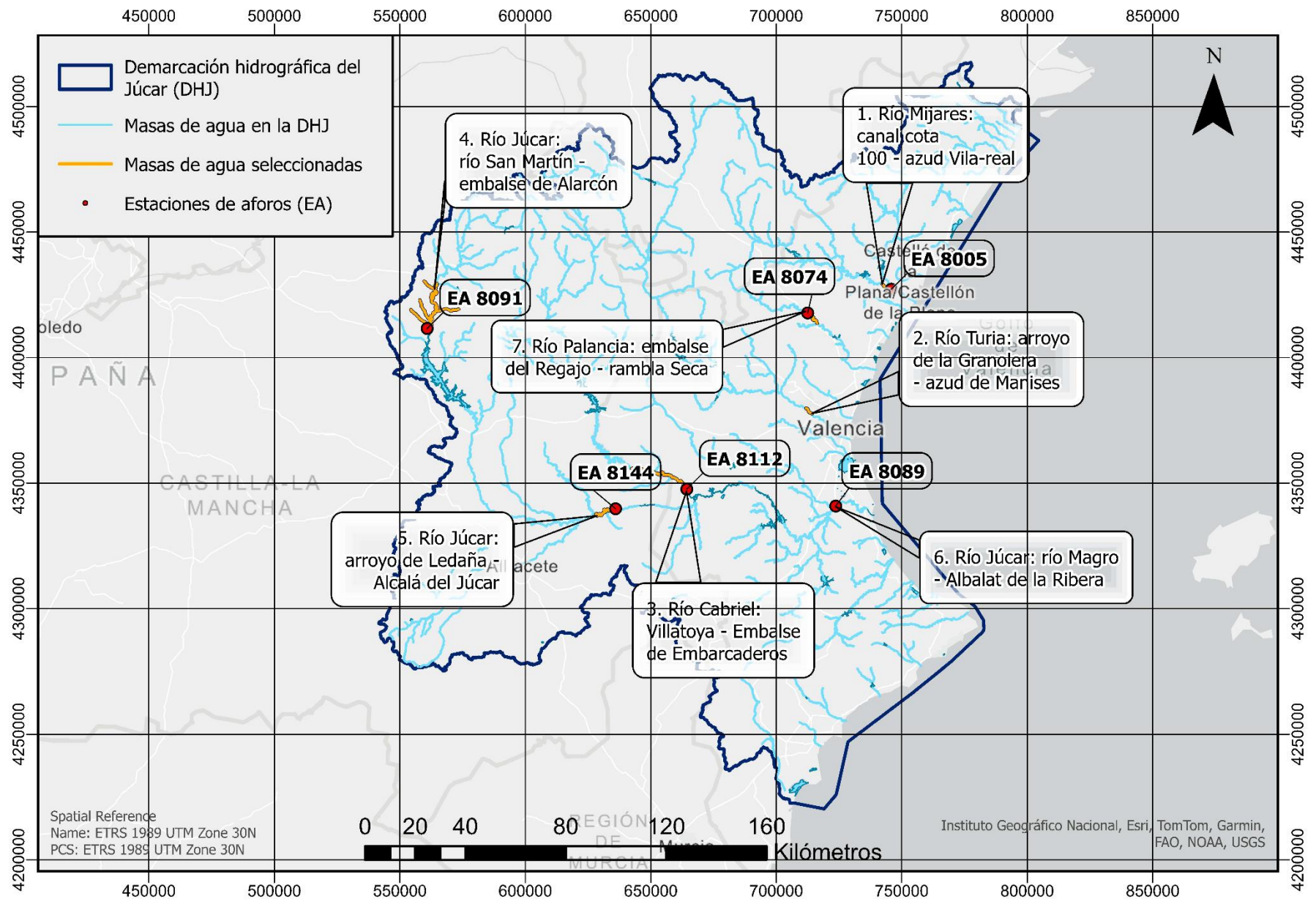
MAPA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO



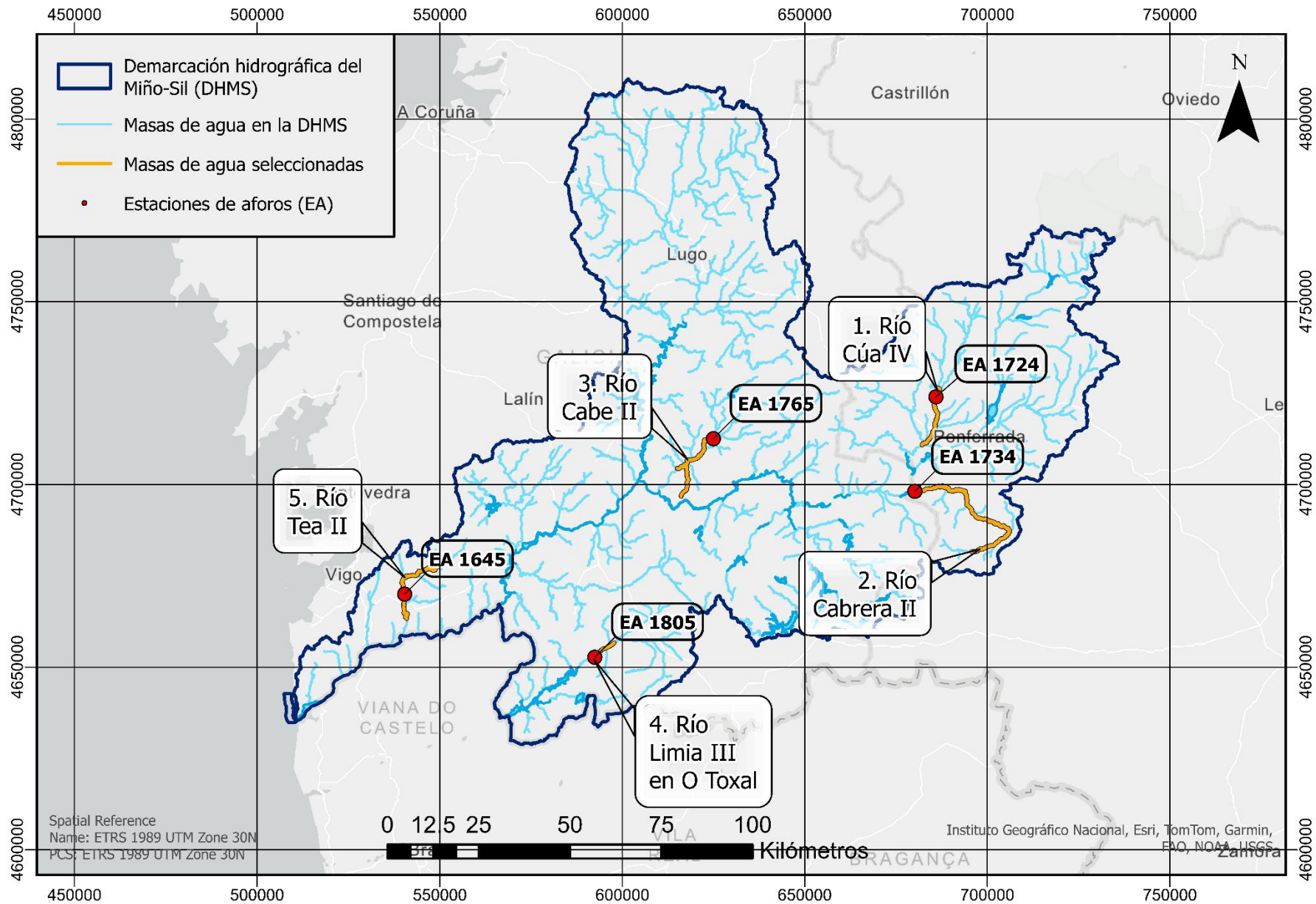
MAPA DE LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL EBRO



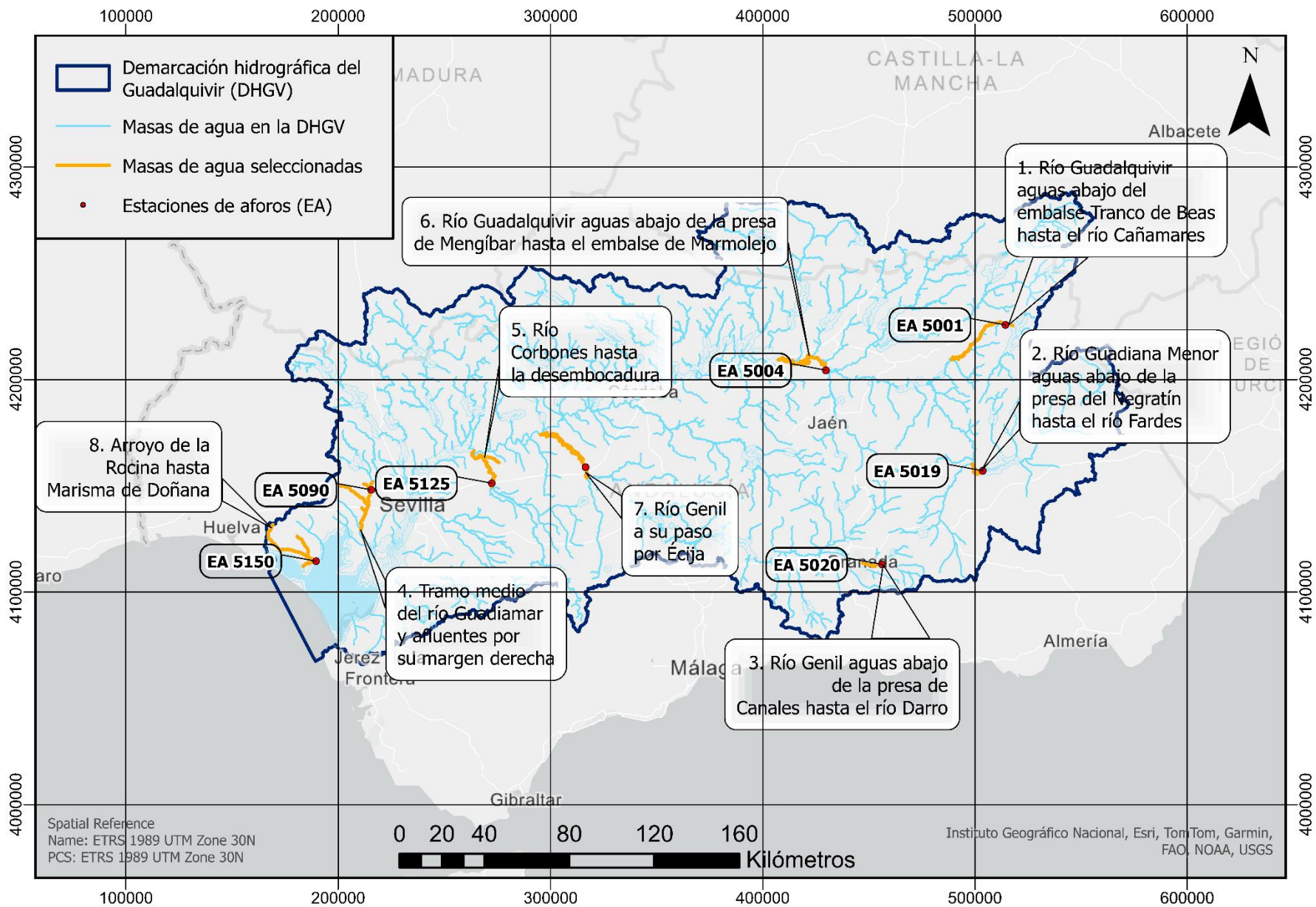
MAPA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR



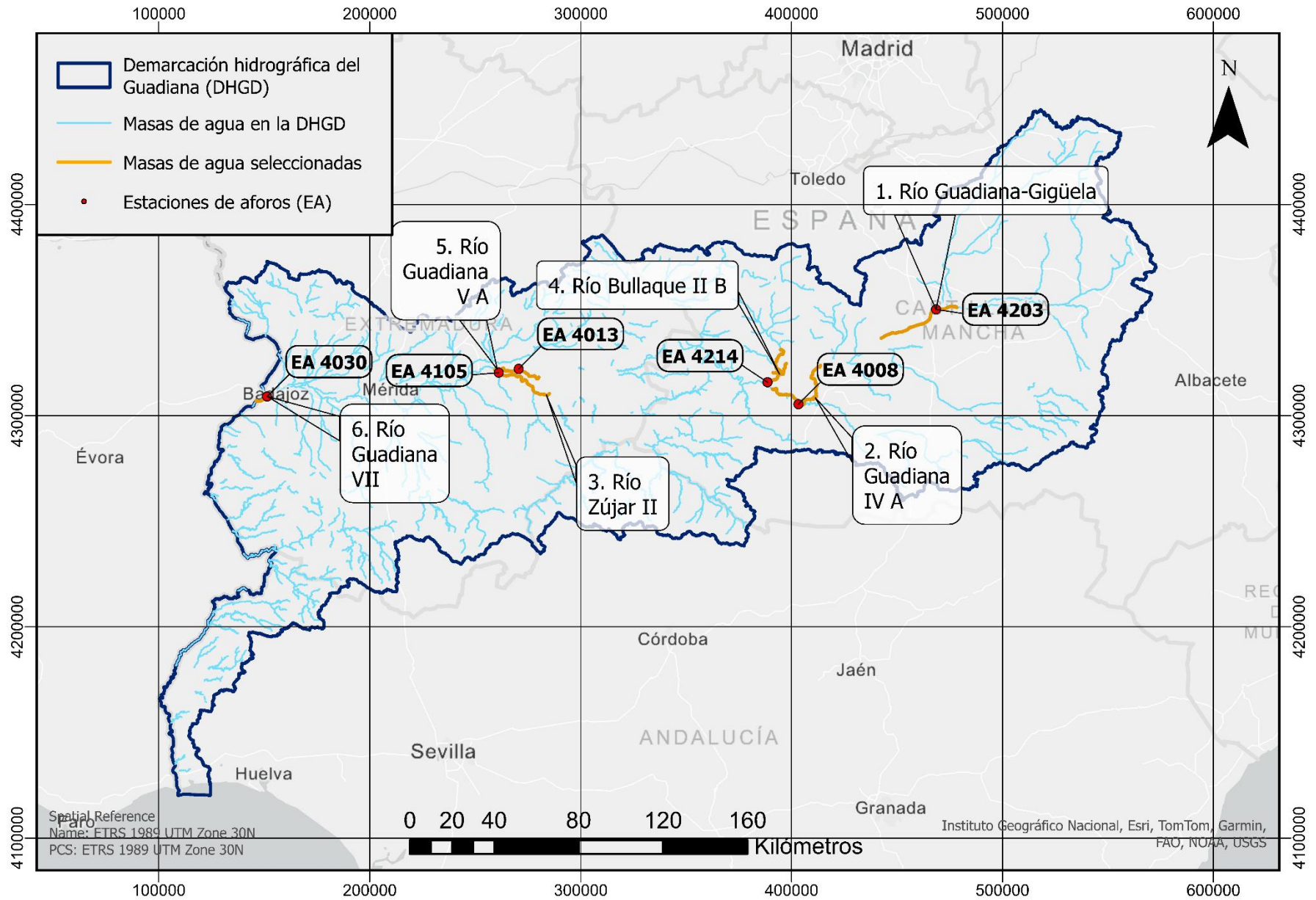
MAPA DE LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL MIÑO-SIL



MAPA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR



MAPA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA



ANEJO II: CAUDALES ECOLÓGICOS. Un patrimonio esencial para la biodiversidad de España y Portugal (disponible en formato electrónico).

ANEJO III: Informes de las 67 masas de aguas superficiales objeto de estudio (disponible en formato electrónico)

ANEJO IV: Variables obtenidas para cada masa de agua superficial (disponible en formato electrónico)

ANEJO V: Comparación de percentiles de excedencia 95% y 85%: caudales medios mensuales vs. caudales medios diarios

Percentiles obtenidos a partir de la serie de caudales medios **mensuales**

P. NO EXCEDENCIA	P. EXCEDENCIA	Caudales (m3/s)											
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
0.9	0.1	0.44	1.64	4.56	8.85	6.63	8.18	7.01	4.06	2.13	0.68	0.62	0.51
0.8	0.2	0.37	1.25	3.27	6.80	5.64	5.06	3.46	3.24	1.57	0.59	0.58	0.45
0.7	0.3	0.33	0.68	2.46	4.74	3.93	3.80	2.85	2.88	0.95	0.55	0.46	0.42
0.6	0.4	0.30	0.44	1.65	2.74	3.42	2.52	2.46	2.31	0.86	0.49	0.43	0.40
0.5	0.5	0.28	0.40	1.27	1.86	3.07	2.02	2.02	1.71	0.81	0.46	0.41	0.35
0.4	0.6	0.27	0.38	0.95	1.27	2.13	1.92	1.77	1.24	0.62	0.38	0.38	0.32
0.3	0.7	0.22	0.31	0.68	1.14	1.22	1.28	1.44	1.22	0.56	0.31	0.32	0.30
0.2	0.8	0.20	0.28	0.38	0.75	0.72	0.84	0.87	1.07	0.42	0.27	0.29	0.28
0.15	0.85	0.19	0.25	0.32	0.64	0.64	0.65	0.85	0.80	0.38	0.26	0.27	0.27
0.1	0.9	0.18	0.25	0.28	0.58	0.56	0.57	0.83	0.67	0.32	0.22	0.24	0.25
0.05	0.95	0.11	0.18	0.25	0.32	0.45	0.47	0.72	0.50	0.28	0.15	0.23	0.22
	MIN	0.11	0.17	0.19	0.28	0.35	0.37	0.61	0.42	0.20	0.14	0.23	0.22

RCEmin(22-27) 0.23 0.23 0.28 0.34 0.35 0.34 0.36 0.35 0.25 0.23 0.23 0.23
 En amarillo cuando RCEmin<RNP95; En naranja cuando RCEmin<RNmin

Percentil con mes/Percentil con día

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
0.85	1.1	1.3	1.6	1.0	1.0	1.0	1.3	1.3	1.7	1.3	1.4	1.3
0.95	DIV 0	DIV 0	1.2	1.1	1.1	0.9	1.5	1.6	2.2	1.6	1.8	4.8
MIN	DIV 0	DIV 0	DIV 0	DIV 0	1.8	1.9	7.6	DIV 0	DIV 0	DIV 0	DIV 0	DIV 0

Percentiles obtenidos con los registros de caudales medios **diarios**

P. NO EXCEDENCIA	P. EXCEDENCIA	Caudales (m3/s)											
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
0.9	0.1	0.59	1.96	4.40	8.70	7.07	6.85	5.12	4.18	2.00	0.83	0.76	0.64
0.8	0.2	0.47	1.05	2.73	5.00	4.90	4.51	3.51	3.06	1.37	0.67	0.61	0.54
0.7	0.3	0.32	0.63	1.90	2.97	3.77	3.42	2.72	2.37	0.99	0.57	0.51	0.47
0.6	0.4	0.24	0.56	1.38	2.06	2.92	2.56	2.21	1.91	0.81	0.49	0.45	0.39
0.5	0.5	0.20	0.34	0.97	1.60	2.21	2.05	1.83	1.55	0.66	0.39	0.39	0.31
0.4	0.6	0.20	0.27	0.63	1.27	1.56	1.63	1.41	1.26	0.56	0.30	0.34	0.22
0.3	0.7	0.20	0.20	0.54	1.02	1.09	1.16	1.08	0.98	0.44	0.25	0.25	0.20
0.2	0.8	0.20	0.20	0.30	0.64	0.76	0.77	0.79	0.71	0.29	0.20	0.20	0.20
0.15	0.85	0.17	0.20	0.20	0.61	0.63	0.63	0.65	0.63	0.22	0.20	0.20	0.20
0.1	0.9	0.07	0.20	0.20	0.56	0.60	0.59	0.59	0.50	0.20	0.17	0.17	0.13
0.05	0.95	0.00	0.00	0.20	0.30	0.39	0.55	0.47	0.31	0.13	0.09	0.13	0.05
	MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

RCEmin(22-27) 0.23 0.23 0.28 0.34 0.35 0.34 0.36 0.35 0.25 0.23 0.23 0.23
 En amarillo cuando RCEmin<RNP95; En naranja cuando RCEmin<RNmin



P. NO EXCEDENCIA	P. EXCEDENCIA	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
0.9	0.1	1.84	5.27	7.41	7.96	7.52	6.81	7.41	4.57	2.63	0.79	0.45	0.44
0.8	0.2	1.22	4.23	5.65	6.36	5.17	5.45	5.69	4.15	1.9	0.61	0.34	0.39
0.7	0.3	0.81	2.08	4.16	5.33	4.41	4.19	5.07	3.59	1.4	0.52	0.26	0.27
0.6	0.4	0.63	1.6	3.56	3.48	3.51	3.84	4.48	2.99	1.1	0.41	0.26	0.23
0.5	0.5	0.47	1.2	2.87	2.5	2.89	3.32	4.01	2.26	1.02	0.41	0.19	0.19
0.4	0.6	0.37	1.06	1.71	1.67	2.01	2.53	2.98	1.88	0.87	0.34	0.15	0.19
0.3	0.7	0.27	0.75	1.27	1.31	1.66	1.98	2.35	1.68	0.69	0.24	0.08	0.12
0.2	0.8	0.22	0.66	0.67	0.89	1.14	1.63	1.57	1.27	0.45	0.19	0.07	0.09
0.15	0.85	0.17	0.54	0.58	0.72	1	1.51	1.36	0.99	0.38	0.15	0.04	0.08
0.1	0.9	0.11	0.37	0.49	0.56	0.78	0.91	1.11	0.77	0.3	0.13	0.04	0.08
0.05	0.95	0.07	0.19	0.44	0.44	0.7	0.67	0.63	0.19	0.19	0.07	0.04	0.03
	MIN	0.07	0.15	0.3	0.22	0.66	0.67	0.19	0.19	0.04	0.07	0.04	0

RCEmin(22-27) 0.09 0.12 0.12 0.12 0.13 0.15 0.17 0.16 0.1 0.09 0.09 0.09
 En amarillo cuando RCEmin<RNP95; En naranja cuando RCEmin<RNmin

Percentiles obtenidos con los registros de caudales medios diarios
 Caudales (m3/s)

P. NO EXCEDENCIA	P. EXCEDENCIA	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
0.9	0.1	1.67	4.98	7.82	8.37	8.37	7.09	7.65	5.30	2.57	0.86	0.44	0.45
0.8	0.2	0.95	2.74	5.22	5.36	5.36	5.11	6.09	4.20	1.81	0.61	0.29	0.31
0.7	0.3	0.69	1.79	3.60	3.53	3.53	4.21	4.98	3.38	1.40	0.51	0.27	0.27
0.6	0.4	0.52	1.40	2.25	2.52	2.52	3.44	4.12	2.64	1.08	0.41	0.20	0.20
0.5	0.5	0.38	1.01	1.47	1.80	1.80	2.95	3.38	2.10	0.84	0.32	0.20	0.20
0.4	0.6	0.27	0.79	1.18	1.44	1.44	2.34	2.63	1.61	0.69	0.26	0.13	0.15
0.3	0.7	0.20	0.65	0.89	1.07	1.07	1.75	1.73	1.28	0.57	0.20	0.09	0.10
0.2	0.8	0.14	0.52	0.61	0.78	0.78	1.47	1.28	1.08	0.41	0.17	0.05	0.08
0.15	0.85	0.09	0.40	0.52	0.66	0.66	1.13	1.13	0.89	0.27	0.14	0.04	0.06
0.1	0.9	0.08	0.24	0.42	0.53	0.53	0.89	0.85	0.68	0.20	0.10	0.03	0.04
0.05	0.95	0.05	0.18	0.26	0.39	0.39	0.63	0.59	0.22	0.10	0.06	0.03	0.02
	MIN	0.02	0.06	0.00	0.12	0.12	0.30	0.20	0.03	0.03	0.03	0.00	0.00

RCEmin(22-27) 0.09 0.12 0.12 0.12 0.13 0.15 0.17 0.16 0.1 0.09 0.09 0.09
 En amarillo cuando RCEmin<RNP85; En naranja cuando RCEmin<RNmin

Percentil con mes/Percentil con día

Perc.	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
0.85	1.8	1.3	1.1	1.1	1.5	1.3	1.2	1.1	1.4	1.1	1.0	1.4
0.95	1.3	1.0	1.7	1.1	1.8	1.1	1.1	0.9	1.9	1.2	1.6	1.3
MIN	4.7	2.5	DIV 0	1.9	5.7	2.2	1.0	6.3	1.3	2.8	DIV 0	1.0



Río Revinuesa
 Datos EA 2000 en régimen natural.
 Serie 1980-2019
 Completos 80-89 y 92-2019
 MSPF269 Río Revinuesa 1

