# Clasificación hidrográfica de los ríos de España
# *Hydrographical classification of rivers in Spain*

**Luis Quintas Ripoll**[1*]

**Palabras clave**

hidrografía;
clasificación ríos;
Pfafstetter;

**Resumen**

En este trabajo se presenta una clasificación de los ríos de España según el método de Otto Pfafstetter modificado. Este método de clasificación, propuesto por la Comisión Europea entre otras razones por su difusión en el mundo y por ser transfronterizo, topológico y compacto, tiene en sus dificultades sus virtudes, ya que, al basarse en la posición de los afluentes y en la extensión de las cuencas vertientes, obliga a la obtención de una red fluvial idealizada topológicamente conectada y al trazado de sus cuencas vertientes, coberturas geográficas de gran utilidad para muchos otros trabajos relacionados con los ríos. Se han trazado todos los ríos de más de 1 km de longitud de la cartografía 1:25.000 del Instituto Cartográfico Nacional (IGN) con sus cuencas vertientes, obteniéndose una nueva visión de la hidrografía española que se ha denominado 'la España de las ottocuencas'.

**Keywords**

*hydrography;*
*river coding;*
*Pfafstetter;*

**Abstract**

*This paper presents a classification of rivers in Spain according to a modified version of the method of Otto Pfafstetter. This classification method has been proposed by the European Commission, among other reasons, for being the most widespread one in the world and, also, for being transboundary, topological and compact. Making virtues of its difficulties as it is based on the position of the tributaries and their watersheds extension, it requires the delineation of a topologically connected river network and its catchment areas, which constitute useful geographical coverages for many other works related to rivers. All the rivers over 1 km in length drawn in the National Cartographic Institute 1: 25,000 scale maps and its catchment areas have been delimitated and classified, giving a new vision of the Spanish hydrography called ' the Spain of the Ottobasins'.*

## 1. ANTECEDENTES

¿Qué se entiende por clasificar los ríos desde el punto de vista hidrográfico? Consiste en identificarles con algún tipo de etiqueta que permita, de una manera sencilla, describirlos hidrográficamente, por ejemplo, por su localización respecto de otros ríos, dónde desemboca, qué tiene aguas abajo, etc. Es atribuirle un descriptor lo más simple posible pero que a la vez sea ilustrativo hidrográficamente hablando. Debe distinguirse entre clasificación y codificación, ya que codificar es otorgar una etiqueta arbitraria a cada elemento cuyo contenido no expresa ninguna propiedad que lo describa de alguna manera.

¿Por qué clasificar los ríos? Estas etiquetas, además de permitir una aproximación sencilla a los ríos, son extraordinariamente útiles para su tratamiento informático, facilitando el uso de todos los datos relacionados con ellos en bases de datos, sistemas de información geográfica (SIG), cartografía digital, servidores de mapas, portales Web, modelación matemática y otras muchas aplicaciones.

En este trabajo se han identificado todos los ríos presentes en la cartografía 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (salvo los menores de 1 km de longitud) a requerimiento de la Dirección General del Agua del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA).

Hasta la fecha no se había efectuado ninguna clasificación de los ríos españoles a este nivel. Sólo hay dos antecedentes, ambos insuficientes.

En primer lugar, la clasificación decimal, creada en 1965 por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) (MOP, 1965). Se pensó para la estimación de los recursos hídricos de España y solo incluyó los ríos con cierta importancia hidrológica de la España peninsular, unos 1.800, trazándose a mano sobre la cartografía 1:50.000 de la época.

Esta clasificación se ha utilizado durante muchos años en muchos trabajos en los que ha colaborado el CEDEX, como en el Libro Blanco del Agua (MIMAM, 2000), y en otras instituciones como la Agencia Española de Meteorología (AEMET), la Dirección General del Agua del MAGRAMA y las Confederaciones Hidrográficas. También se ha utilizado en algunos países como Venezuela (COPLANARH, 1969) y Honduras (Balairón L. et al. 2003). Ha vertebrado la base de datos corporativa HIDRO del CEDEX (Quintas, 1996). Tiene un gran inconveniente: no es ampliable, ya que los códigos no permiten intercalar ríos. No es pues apta para la clasificación de los numerosos ríos presentes en la cartografía 1:25.000 del IGN, objeto del presente trabajo.

En segundo lugar, la clasificación del punto kilométrico, utilizada por el MAGRAMA. Es más bien una codificación, puesto que la información topológica no aparece en los códigos sino que se confía a la base de datos asociada a los ríos. Este método tiene como ventaja su sencillez y la

* Autor de contacto: luis.quintas@cedex.es

[1] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe del Área de Ingeniería de Sistemas del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

fácil incorporación de nuevos ríos, pero a cambio sólo clasifica los cauces de los ríos y no sus cuencas vertientes por lo que no cubre el territorio y solo es aplicable a otras entidades geográficas cuando están situadas sobre el propio cauce. Además, uno de los parámetros utilizados, la distancia a la desembocadura de los ríos, depende de la escala del mapa por lo que es variable.

Actualmente se aplican numerosos métodos de clasificación de los ríos en el mundo, como la clasificación de Horton-Strahler (Horton, 1945 y Strahler, 1957), la de Shreve (Shreve, 1966), la de Li (Li, 2006), la SACRED (Stein y Hutchinson, 2008), la HUC (Hydrological Unit Code) utilizada en Estados Unidos (USGS 1987) y la ERICA aplicada en Alemania (Flavin, 1998). Sin embargo, la clasificación más difundida actualmente es la propuesta por el brasileño Otto Pfafstetter (Pfafstetter, 1989), desaparecido poco después de idearla y popularizada por Cristina Verdin (Verdin y Verdin, 1999).

La clasificación de Pfafstetter, que otorga dígitos pares a los ríos completos e impares a las intercuencas de manera anidada (figura 1) se ha difundido rápidamente por reunir una serie de cualidades que la convierten en la más adecuada en la mayoría de los casos:

- Clasifica ríos y cuencas, por lo que cubre todo el territorio
- Es una clasificación anidada, otorgando nuevos dígitos según se clasifican afluentes de los afluentes
- Es la más compacta de todas las existentes (solo añade un dígito por nivel), por lo que es muy adecuada para redes muy densas o de mucho detalle
- Es transfronteriza, ya que se basa en la extensión física de las cuencas vertientes independientemente de los límites administrativos, y por lo tanto muy apta para clasificar redes fluviales de continentes completos
- Refleja la situación topológica del río clasificado (por ejemplo en qué río desemboca) de manera que admite operaciones como la obtención de los ríos y cuencas aguas arriba o aguas abajo
- Admite con facilidad añadir la clasificación de nuevos ríos sobre una clasificación previa
- Puede abordarse una generación automática o semiautomática de la clasificación mediante programación SIG

Esta clasificación, con modificaciones, se está utilizando en numerosos países, como Argentina (Robredo, 2011), Australia (Delaney, et al. 2011), Bolivia (MMAyA, 2010), Brasil (Amorim, 2012), Ecuador (Rosas, 2011), Paraguay (Cabral, 2011), Perú (Aguirre, 2003), Guatemala (MAGA, 2009) y Portugal (NERY, 2001). Hay propuestas para la clasificación a nivel continental, como Ruiz y Torres (2008) y UICN SUR (2008) para toda América del Sur, y Verdin y Jenson (1996) para América del Norte y Centroamérica. Estos últimos autores proponen una clasificación para el mundo entero. En Europa, la Comisión Europea, a través del Joint Research Centre (JRC), ha propuesto a todos los países miembros de la Unión Europea (EC 2003a) una aplicación de la clasificación de Pfafstetter (Vogt, 2002, EC, 2003, EC, 2009 y Jager y Vogt, 2010) que ha servido de base para el trabajo aquí expuesto.

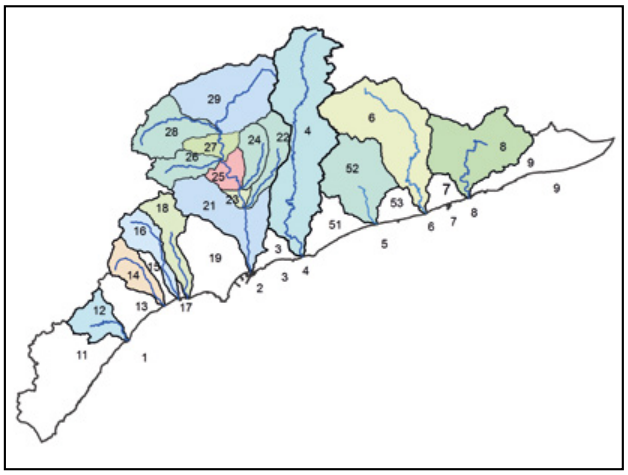



**Figura 1.** Clasificación de Pfafstetter de ríos y cuencas de un tramo de costa.

## 2. CARTOGRAFÍA EMPLEADA

Se ha utilizado intensamente la cartografía digital cedida por el IGN, aportación indispensable para la realización de este trabajo:

- La Base Cartográfica Numérica (BCN25), colección de mapas vectoriales escala 1:25.000 de toda España, proporcionada por el Centro Nacional de Información Geográfica (CENIG) del IGN[1]
- La cartografía raster del IGN de diversas escalas disponible en su infraestructura de datos espaciales (IDEE[2])
- El modelo digital del terreno (MDT) continuo de la España peninsular y Baleares, de 25x25 m de resolución, MTN25 del IGN. Para el archipiélago canario se derivó un MDT de la misma resolución a partir de las curvas de nivel de la cartografía BCN25.

También se han utilizado numerosos servicios WMS (servidores de mapas Web), estatales, autonómicos y otros especializados, como los de las Confederaciones Hidrográficas. Ha sido de una enorme utilidad el servicio WMS del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de España (PNOA) del IGN disponible en la IDEE.

La red fluvial fuera del territorio español, en Francia y Portugal, conectada con la red española, se derivó a partir de un MDT disponible en Internet, el EOSDIS[3] de la NASA.

En este trabajo se ha adoptado el término modelo digital del terreno (MDT) para la representación matricial de la superficie de la Tierra frente a la denominación modelo digital de elevaciones (MDE) muy utilizada por los expertos en la materia (Olivera (2001) y Felicísimo (1994) por ejemplo). El IGN define[4] un MDE como el conjunto de dos modelos matriciales, el del terreno propiamente dicho, MDT, en cuyas celdas se almacena la cota del terreno a nivel de suelo, y el de superficie, MDS, que almacena la cota del terreno por la copa de los árboles, viaductos, puentes, etc.

[1] http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/

[2] www.idee.es

[3] https://reverb.echo.nasa.gov/

[4] http://www.ign.es/ign/layoutIn/modeloDigitalTerreno.do

## 3. PREPROCESO DE LAS COBERTURAS GEOGRÁFICAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA RED FLUVIAL

### 3.1. Aplicación de la metodología de Pfafstetter

La automatización total de la clasificación de una red fluvial por el método de Pfafstetter es posible en el caso de redes genéricas derivadas directamente de un MDT (Olivera 2001, Felícísimo, 1994 y Ruiz y Torres, 2010). Sin embargo, cuando se quiere clasificar una red concreta existente, como la que se ha clasificado en el presente trabajo, no es posible un procedimiento totalmente automático, tal y como se expone a continuación.

Hace falta disponer de las siguientes coberturas geográficas:

- Cobertura de la red fluvial simplificada, compuesta de elementos lineales y perfectamente conectados y orientados, formando redes arbóreas (dendríticas) no malladas y unifilares, para poder recorrerlas de aguas abajo a aguas arriba, y disponer así de las distancias a la desembocadura de las confluencias (no se podrían ordenar los afluentes desde la desembocadura al nacimiento para su clasificación si no fuera así). La cobertura debe incorporar el nombre de los ríos en todos los tramos para su clasificación por nombres.
- Cobertura de las cuencas hidrográficas vertientes a todos los ríos y sus afluentes, para poder seleccionar en cada nivel los 4 afluentes con mayor cuenca.

El procedimiento automático general de obtención de estas dos coberturas directamente del MDT consta de los siguientes pasos, todos realizados mediante operaciones SIG:

- 3 operaciones para la obtención de la red fluvial simplificada:

  a) Obtención del mapa de direcciones de drenaje (MDD) a partir del MDT
  b) Generación del mapa de acumulaciones de flujo (MAF) a partir del MDD
  c) Delimitación de la red fluvial mediante la definición de un umbral de flujo

- 2 operaciones para la obtención de las cuencas vertientes:

  d) Tramificación de la red fluvial para la identificación de cada tramo
  e) Derivación de las cuencas vertientes de cada tramo

- Finalmente se clasifica la red fluvial:

  f) Vectorización de la red fluvial y las cuencas vertientes
  g) Asignación de distancias a las desembocaduras y cuencas vertientes a todos los ríos
  h) Clasificación de los ríos y cuencas asignando los códigos según el método de Pfafstetter

### 3.2. Obtención de la red fluvial

El procedimiento automático general (figura 2) de obtención de la red fluvial directamente del MDT a través del MDD no se utilizó en este trabajo porque no proporciona una red fluvial que coincida con la red fluvial presente en la cartografía 1:25.000.

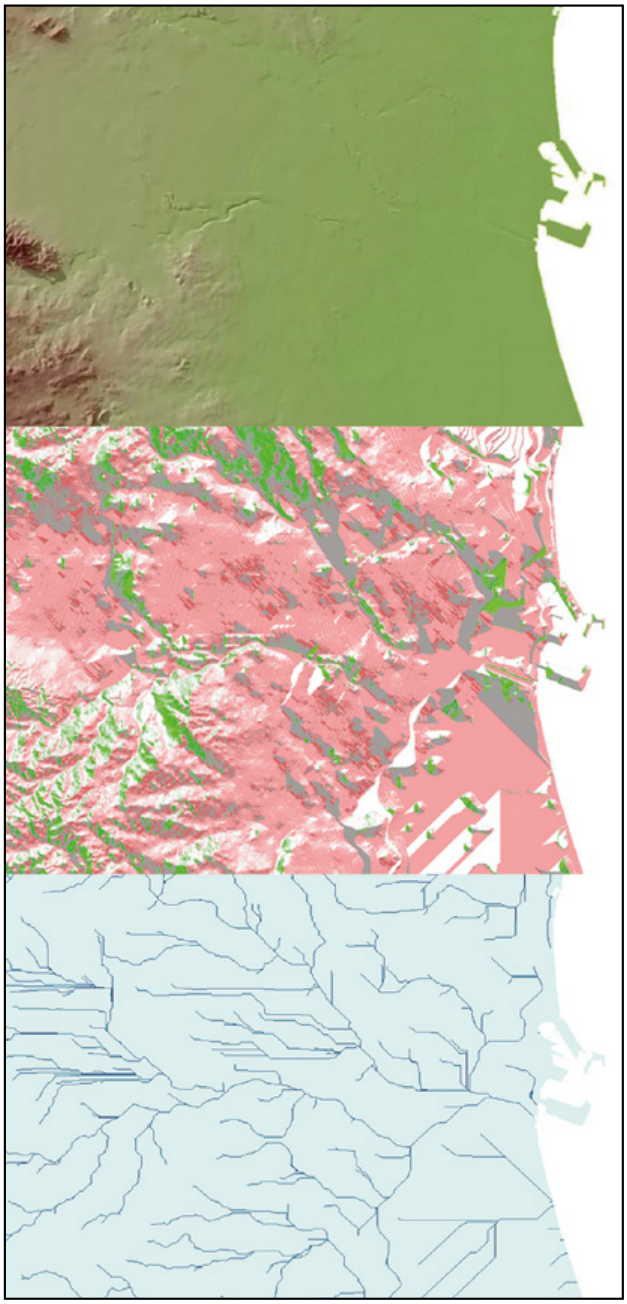


**Figura 2.** Obtención de la red fluvial por el procedimiento automático MDT – MDD – MAF.

Si se extrae la red fluvial de la cartografía, que es la que se pretende clasificar (figura 3), y se compara con esta red derivada, se observa una falta de coincidencia inaceptable (figura 4).

Esto ocurre porque la derivación de redes fluviales a partir del MDT solo es posible a una escala de poco detalle, en zonas donde el relieve define claramente la red fluvial y en zonas poco alteradas por el hombre.

Éste no es el caso de este trabajo, por lo que se abandonó esta metodología y se procedió a extraer la red fluvial de la cartografía y a adecuarla para la clasificación.

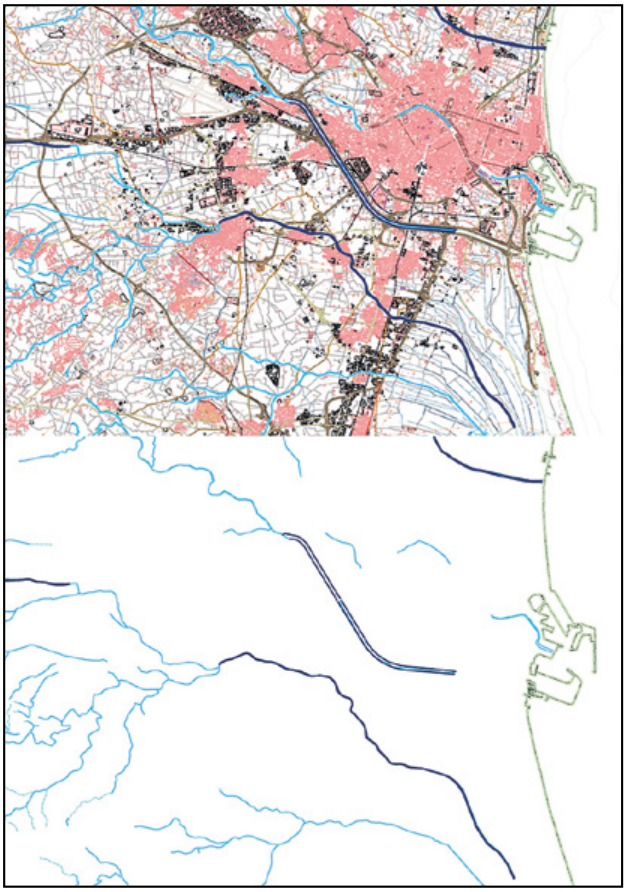


**Figura 3.** Extracción de la red fluvial de la cartografía 1:25.000 del IGN.

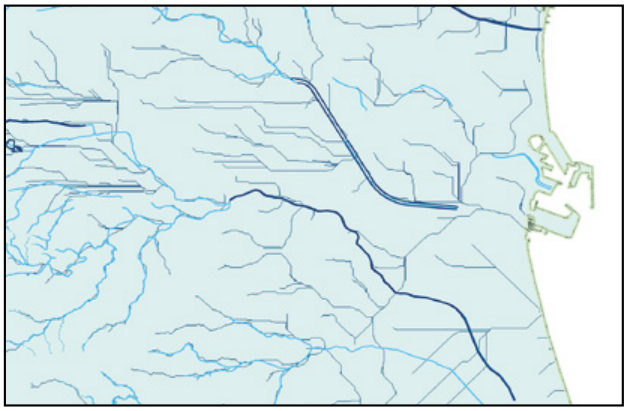


**Figura 4.** Discordancia entre red derivada del MDD y red fluvial cartográfica.

La red extraída de la cartografía presentaba muchos problemas para ser apta para su clasificación: no constaba de la continuidad necesaria, ni formaba una red arborescente. Estaba formada de elementos geográficos complejos que debían ser simplificados. Para transformarla en la red fluvial simplificada adecuada se acometieron las tareas siguientes:

- Eliminación en la hidrografía extraída de la cartografía BCN25 de todos los elementos que no formaban parte de la red fluvial propiamente dicha (canales, acequias, balsas, piscinas, etc.)
- Revisión de la conectividad de todos los nodos
- Trazado de aguas arriba a aguas abajo de todos los tramos.

**Figura 5.** Red fluvial bajo los embalses.

- Eliminación de dobles márgenes en ríos anchos, estuarios, etc.
- Trazado de la red bajo los embalses y lagos (figura 5)
- Conexión de los ríos discontinuos, ríos considerados no endorreicos, que desaparecen de la superficie por infiltración en el terreno o por evaporación, o debido al tejido urbano en las ciudades (figura 6). Fue éste un trabajo muy laborioso, por ser muy numerosos los casos presentes en la hidrografía española. Para decidir su trazado, hubo que apoyarse en el MDT, en las curvas de nivel, en las imágenes del PNOA y en otras fuentes cartográficas como las redes fluviales disponibles en las Confederaciones Hidrográficas.

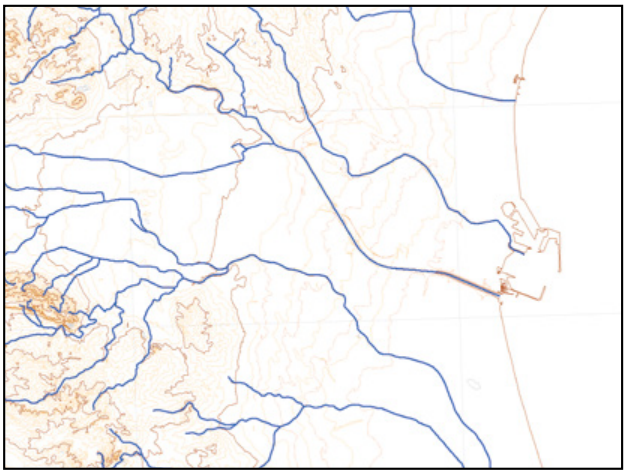


**Figura 6.** Trazado de la red fluvial de los ríos discontinuos.

- Trazado de la red fluvial en forma arborescente en zonas formando mallas, como en las marismas y zonas regables (figura 7).

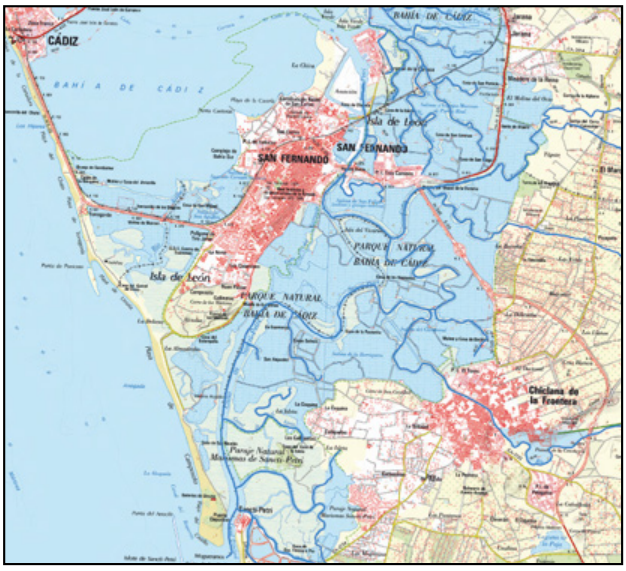



**Figura 7.** Trazado arborescente de ríos en malla.

- Trazado simplificado de los ríos endorreicos complejos
- Eliminación de los ríos cortos, de longitud menor de 1 km. Ante la enorme cantidad de ríos presentes en la cartografía 1:25.000, del orden de 300.000, se decidió suprimir los ríos más cortos, siempre que no tuvieran ningún nombre. Se tantearon varios umbrales de longitud mínima en una cuenca piloto, eligiéndose finalmente un umbral de 1 km de longitud. De esta forma se eliminó el 44 % de los ríos, simplificándose notablemente el trabajo. Estos ríos suprimidos se consideraron irrelevantes desde el punto de vista hidrográfico.
- Ordenación de la hidronimia. Se resolvieron los conflictos que fueron apareciendo en los nombres de los ríos, como nombres dudosos, duplicados, ríos con nombre desembocando en ríos sin nombre, etc.
- Completado de la red fluvial a través de Francia y Portugal hasta el mar tal y como exige la clasificación de Pfafstetter. No fue necesario trazar toda la red si no solo los ríos principales (o solo su inicio) (figura 8).

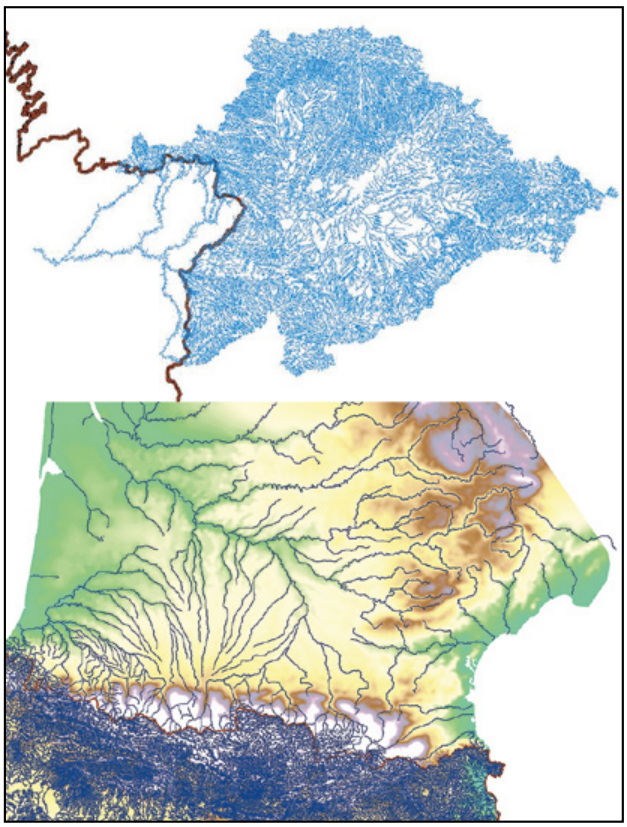


**Figura 8.** Completado de la red fluvial en Portugal y Francia.

### 3.3. Obtención de las cuencas vertientes

Determinada la red fluvial, se comprobó que para obtener sus cuencas vertientes tampoco se podía seguir el procedimiento automático tradicional, aunque se forzase el trazado de la red fluvial manipulando el MDT mediante técnicas como la del encañonado o 'burning in' (ESRI, 2012). A partir del mapa de acumulación de flujo MAF (figura 9) que se obtiene del MDD hay que delimitar los tramos de la red fluvial y otorgarles un identificador para asociarles las celdas del mapa raster de su cuenca vertiente, operación que se denomina 'tramificación' de la red.

Los tramos de la red fluvial se obtienen buscando un valor umbral del número de celdas tal que seleccione las celdas de la red fluvial que acumulen al menos ese valor umbral y elimine el resto. En la figura 10 se muestran varias redes fluviales matriciales para diferentes umbrales (2.000,

5.000, 10.000 y 20.000 celdas vertientes) y es fácil comprobar que es imposible conseguir la coincidencia total con la red fluvial obtenida de la cartografía 1:25.000 (figura 6). Es lógico, ya que al fin y al cabo la red que genera un MDD está de alguna manera relacionada con el área vertiente, mientras que en la realidad en el trazado de los ríos intervienen otros factores, como la distribución de la lluvia, la geomorfología de los suelos y por supuesto, la actividad humana.

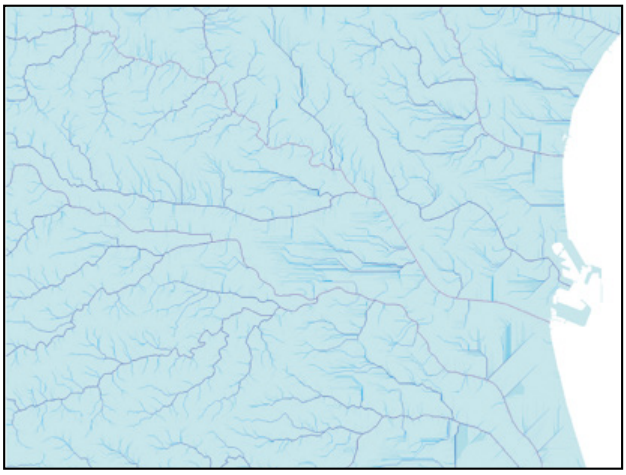


**Figura 9.** MAF generado a partir del MDD.

Ante esta dificultad se recurrió a la programación. Se programó una aplicación en lenguaje Fortran que, a partir de una cobertura matricial en la que solo figuraban las celdas origen de los ríos de la cartografía BCN25 (figura 11), derivaba con ayuda del MDD la red fluvial a partir de estas celdas origen (figura 12), numerando a continuación ordenada y unívocamente todos los tramos de la red (figura 13).

Este proceso es sencillo y tiene la virtud de generar la misma red fluvial que la extraída de la cartografía (salvo errores de derivación, que se producen y se describen más adelante) pero sobre todo, y esto es extraordinariamente importante, perfectamente consistente con el MDD. Sin embargo tiene una consecuencia : se deriva una red fluvial nueva, y por lo tanto tiene que ser revisada íntegramente para comprobar que efectivamente coincide con la de la cartografía BCN25. Esta revisión es más fácil si se generan las cuencas vertientes, operación SIG sencilla (figura 14).

Así pues, para la obtención de las cobertura de cuencas vertientes definitiva, se puso en marcha un proceso iterativo que asegurara una red fluvial coincidente con la red de la cartografía 1:25.000 consistente con el MDD y las cuencas vertientes generadas a partir de éste.

Obtenida la primera red derivada tramificada, el proceso iterativo fue el siguiente:

a) Generación de las cuencas vertientes
b) Vectorización de la red fluvial y de las cuencas vertientes

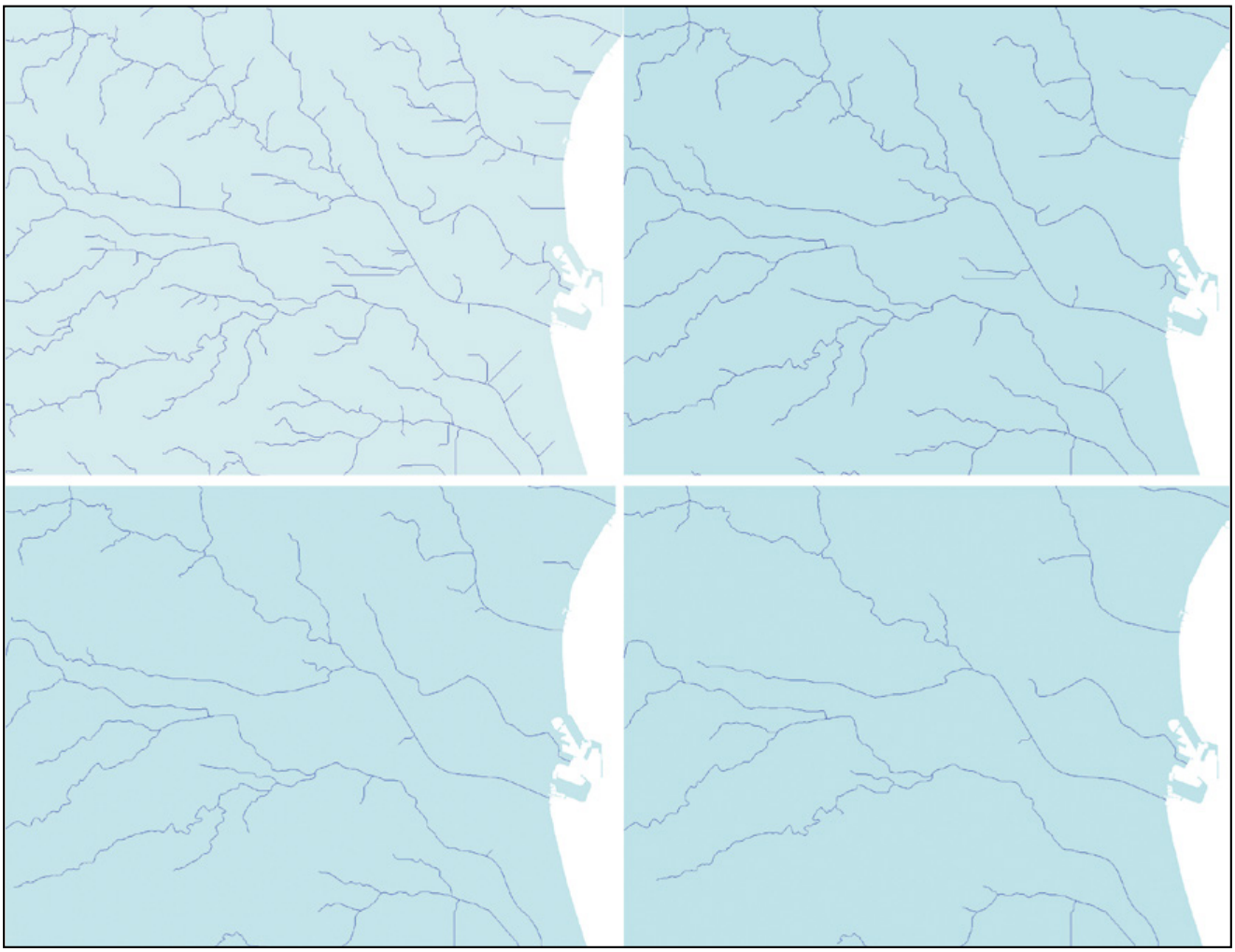


**Figura 10.** Redes fluviales obtenidas con distintos umbrales de celdas vertientes.

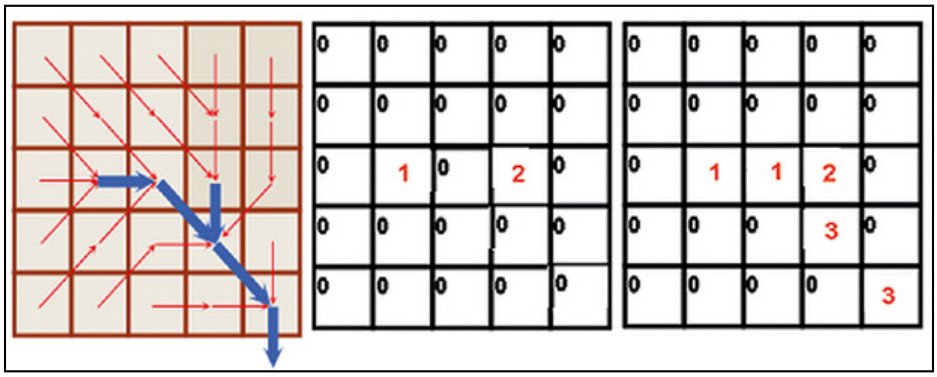



**Figura 11.** Ejemplo simplificado de las operaciones matriciales efectuadas por programación.

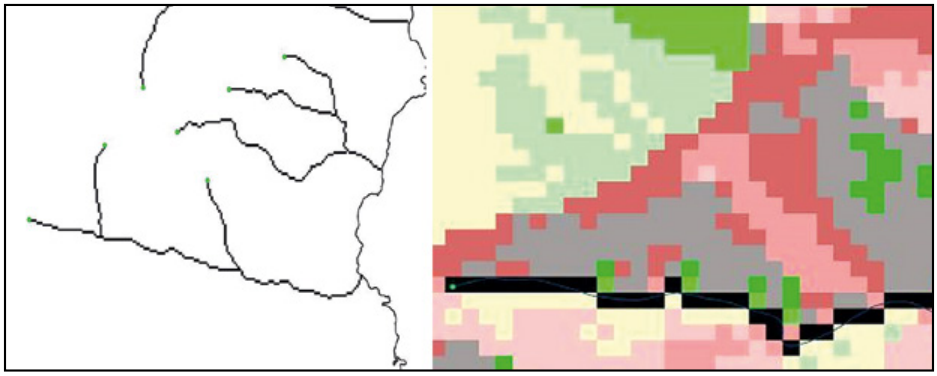


**Figura 12.** Cobertura matricial de celdas origen de los ríos (en verde) superpuesta a la red derivada de ella (en negro).

**Figura 13.** Obertura matricial de la red fluvial tramificada. Cada color representa un valor correspondiente al número de tramo.

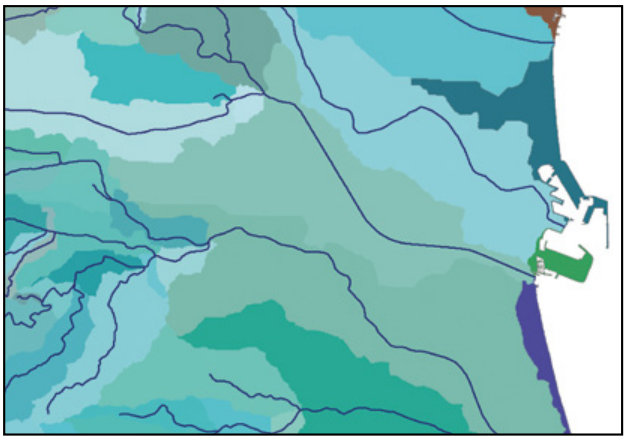


**Figura 14.** Mapa matricial de cuencas vertientes a la red fluvial derivada.

c) Comprobación de ambas por comparación con la red fluvial de la cartografía BCN25 y la cartografía disponible
d) Corrección de errores exclusivamente efectuando cambios en el MDD
e) Nueva derivación de la red fluvial a partir del MDD corregido mediante la programación Fortran
f) Nueva generación de las cuencas vertientes

Las correcciones se efectuaron comparando la red derivada y sus cuencas vertientes con la red del BCN25 sobre la cartografía del IGN. Las correcciones más numerosas fueron las siguientes:

- Corrección de errores en la derivación de la red fluvial (figura 15): se corrigieron desviaciones en las confluencias de la red derivada y de la original de más de 75 m.

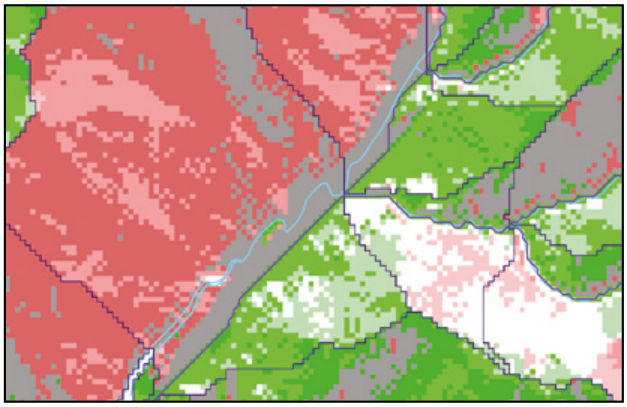


**Figura 15.** Río derivado (azul oscuro) desplazado más de 75 m respecto del río de la cartografía (en azul claro).

- Correcciones en las zonas costeras. Muchas llanuras costeras, muy alteradas por el urbanismo, necesitaron ser reordenadas para poder aplicar la clasificación de Pfafstetter sin problemas (figura 16).

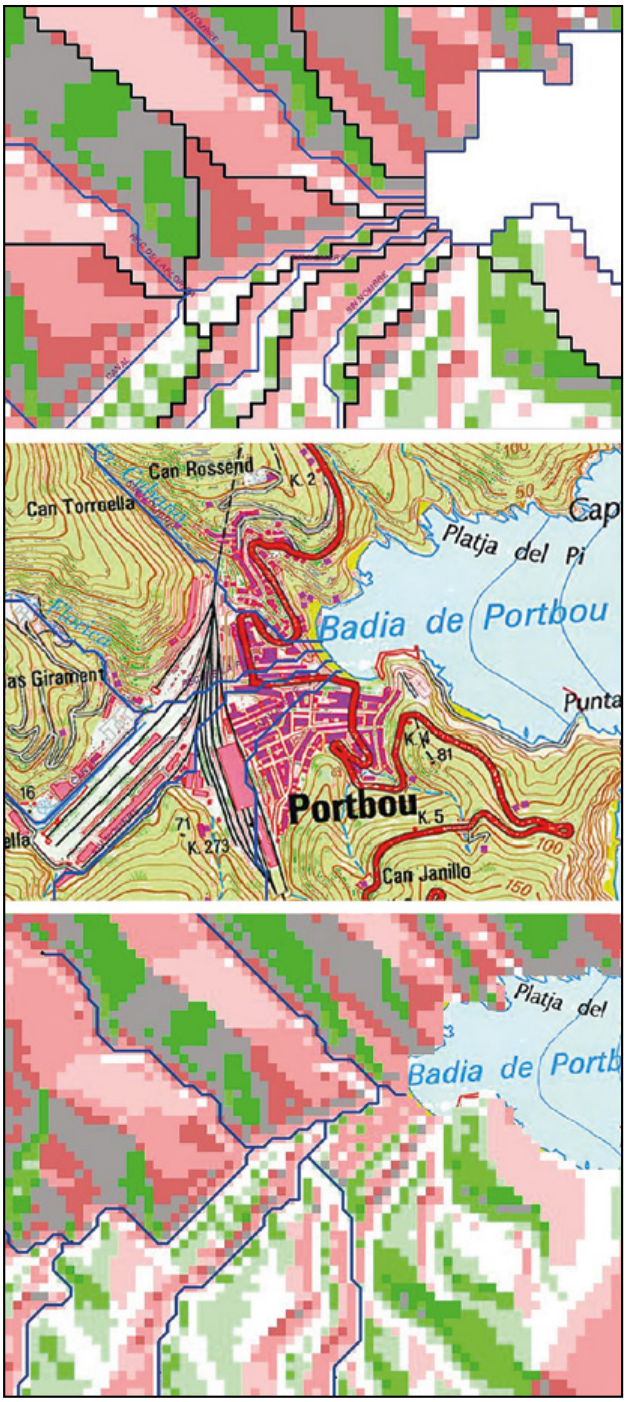



**Figura 16.** Reordenación de ríos y cuencas en la costa.

- Corrección de las cuencas vertientes en las confluencias. Cuando un SIG traza las cuencas vertientes, en la celda de la confluencia no sabe a qué cuenca atribuirla porque puede pertenecer a cualquiera de las cuencas de los 2 ríos confluentes. Resuelve el problema atribuyéndose a la cuenca en la que vierten ambas aguas abajo. Pero cuando hay más celdas aguas arriba que vierten a esta celda de la confluencia, se forma una pequeña cuenca vertiente errónea que se une a la cuenca aguas abajo. En la figura 17 la cuenca CA1 y la CB confluyen en la CA2. Se corrige manualmente, cambiando la dirección de drenaje en la celda de la confluencia en el MDD, optando por una de las 2 cuencas confluentes.

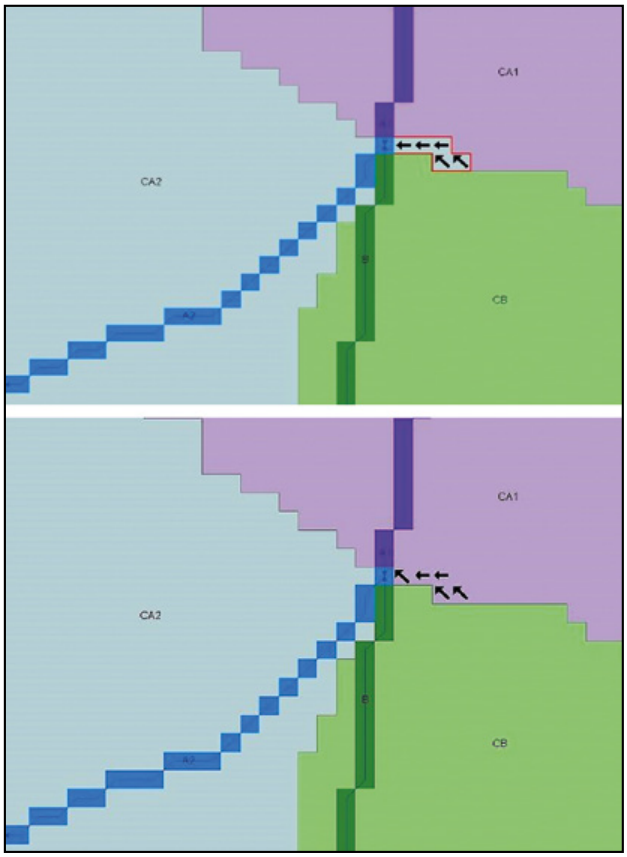



**Figura 17.** Corrección de cuencas vertientes en las confluencias fluviales.

- Tratamiento de las cuencas endorreicas. Éstas, por su complejidad, han necesitado ser tratadas extensamente (figura 18). Se suprimieron las menores de 4 hectáreas y se agruparon las demás para adaptarlas a las limitaciones de clasificación de endorreicas que presenta el método de Pfafstetter. Se consultó numerosa documentación suplementaria para utilizar criterios que respetasen la hidrogeología en lo posible. Fue un proceso muy laborioso.

Terminado este proceso iterativo se generó el MAF definitivo a partir del MDD final.

El proceso iterativo explicado en el apartado anterior dio lugar a una serie de coberturas todas matriciales: la red fluvial, las cuencas vertientes, el MDD y el MAF. Para realizar la clasificación de Pfafstetter cómodamente por programación SIG era necesario vectorizar la red fluvial y las cuencas. Es una operación sencilla de SIG, pero necesita 2 tratamientos finales:

- Ajuste de las confluencias de ríos y cuencas. Debido a que los ríos derivados del MDD se trazan por el centro de las celdas y las cuencas por los bordes de las mismas, las confluencias no son coincidentes (figura 19). Se desplazaron los vértices de las cuencas a los vértices de los ríos mediante programación SIG.

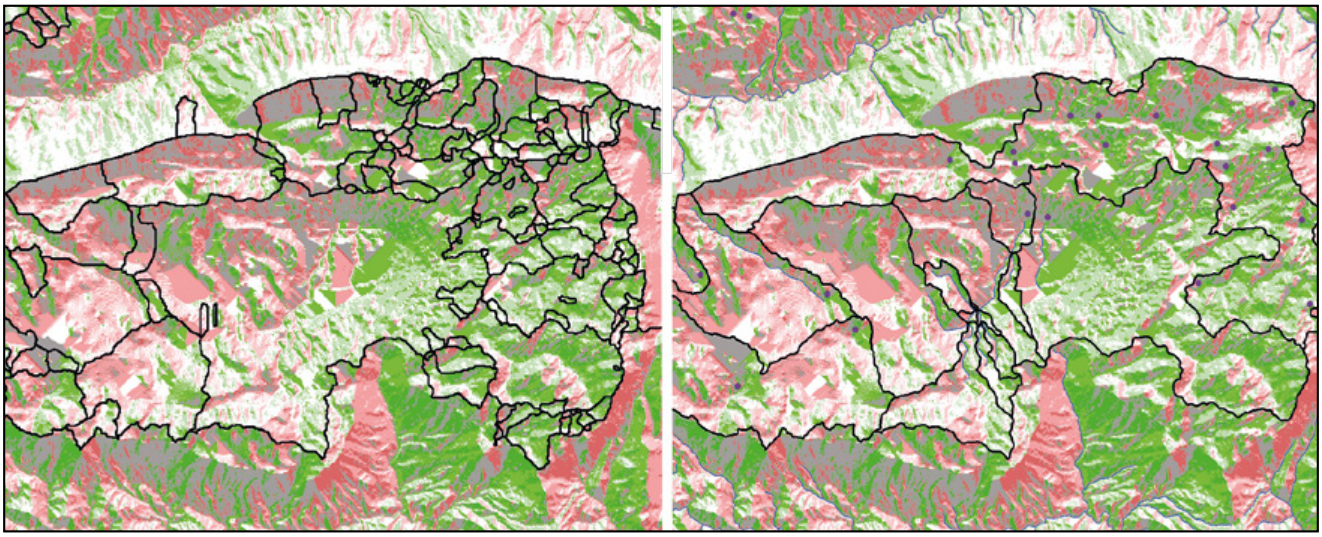


**Figura 18.** Reordenación de una zona endorreica compleja (Sierra de Urbasa).

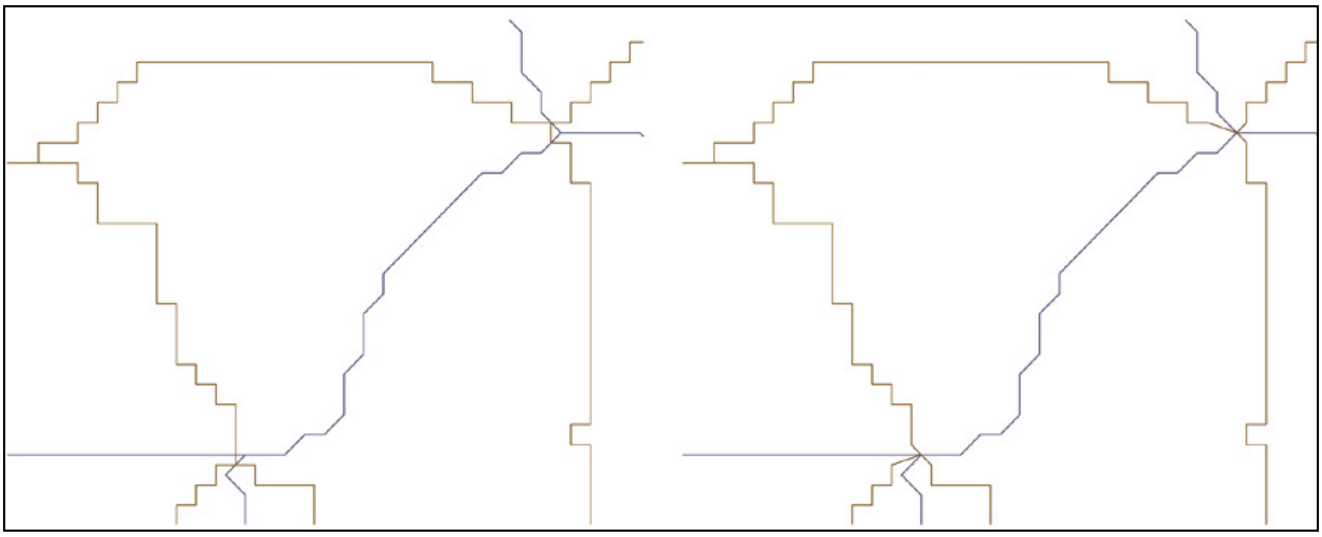


**Figura 19.** Ajuste de las confluencias de ríos y cuencas vectorizados.

- Suavizado de ríos y cuencas (figura 20). Esta operación, que puede parecer cosmética, tiene dos consecuencias muy interesantes: por un lado asegura la unicidad entre tramos de ríos y sus cuencas vertientes, ya que las cuencas sin suavizar incluyen tramos de varios ríos también sin suavizar. Por otro lado, corrige la longitud de los ríos y el perímetro de las cuencas, cuyo trazado sin suavizar es considerablemente más largo que el suavizado.

No se suavizaron ni las fronteras ni la costa cuyo trazado procedía de la cartografía BCN25 y debía ser conservado.

De esta manera quedaron preparadas para la clasificación las coberturas de ríos y cuencas en todo el territorio español incluyendo las cuencas y ríos transfronterizos (figuras 21 y 22).

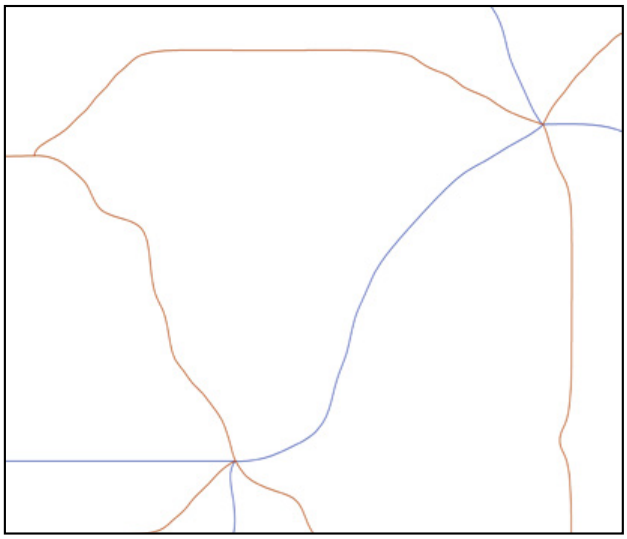


**Figura 20.** Ríos y cuencas suavizados.

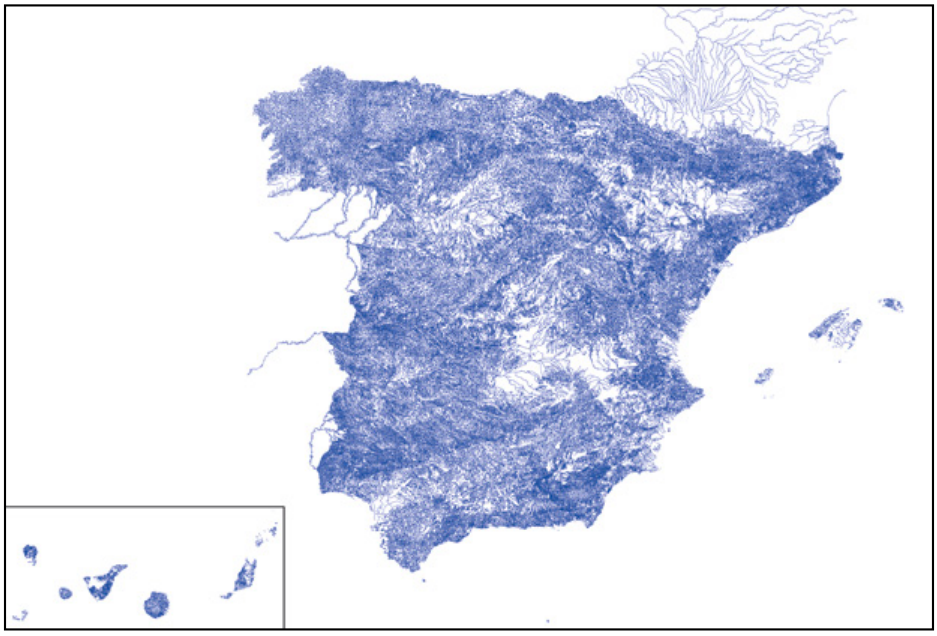


**Figura 21.** Red fluvial de toda España preparada para su clasificación.

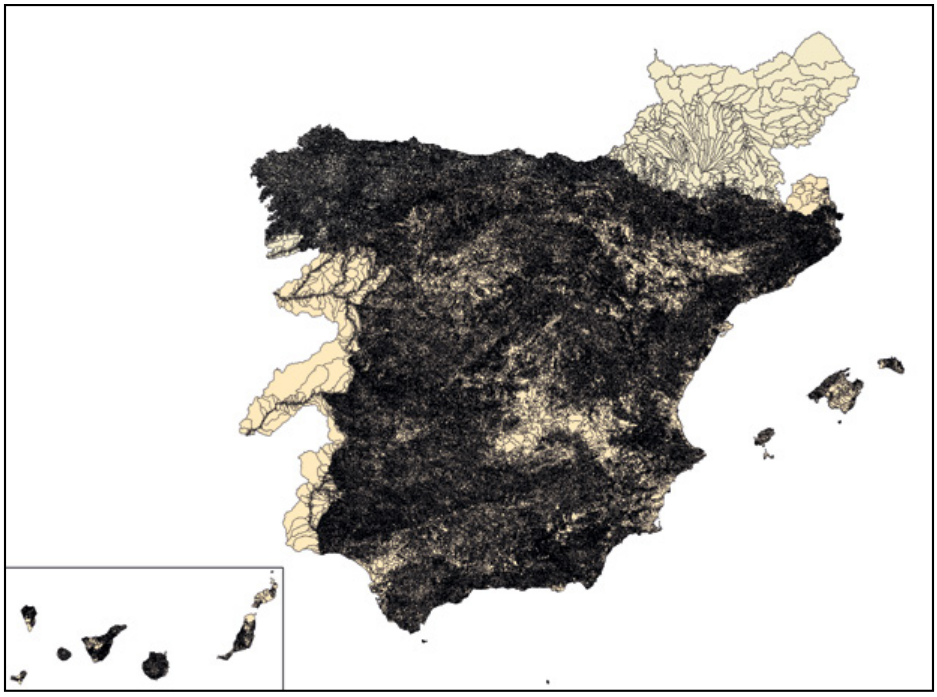


**Figura 22.** Cuencas vertientes de toda España preparadas para su clasificación.

## 4. CLASIFICACIÓN DE LA RED FLUVIAL DE ESPAÑA SEGÚN PFAFSTETTER MODIFICADO

### 4.1. Modificación del método de Pfafstetter

El método de Pfafstetter de clasificación se basa exclusivamente en la extensión de las cuencas vertientes. La selección del río principal se efectúa de manera automática. Se remonta por el cauce del río desde la desembocadura y cuando se llega a una confluencia, se interroga por la extensión de las cuencas vertientes de los dos ríos confluentes. Como cauce principal se toma siempre el de mayor cuenca vertiente, quedando así definido, confluencia a confluencia, hasta su nacimiento. Los demás ríos son sus afluentes. Este sistema tiene un inconveniente grave. A menudo el río principal no coincide con el definido en la cartografía como tal. Si se considera el río Guadalquivir (figura 23) y se clasifica por la extensión de las cuencas vertientes, el río principal es el Guadalquivir hasta su confluencia con el Guadiana Menor, que pasa a ser río principal. El tramo del nacimiento del Guadalquivir ni siquiera está entre los 4 mayores afluentes de este río principal.

Esto ocurre en muchísimos ríos españoles. De esta manera no es posible clasificar los ríos íntegramente desde su nacimiento hasta su desembocadura tal y como están representados en la cartografía. El resultado es que un río puede tener varios códigos de clasificación a lo largo de su recorrido. Para clasificar los ríos completos con un único código, se debe identificar el río principal por su nombre y no por la extensión de las cuencas. Éste es el criterio seguido en este trabajo, por lo que se puede afirmar que se ha aplicado un método de Pfafstetter modificado. Supone una

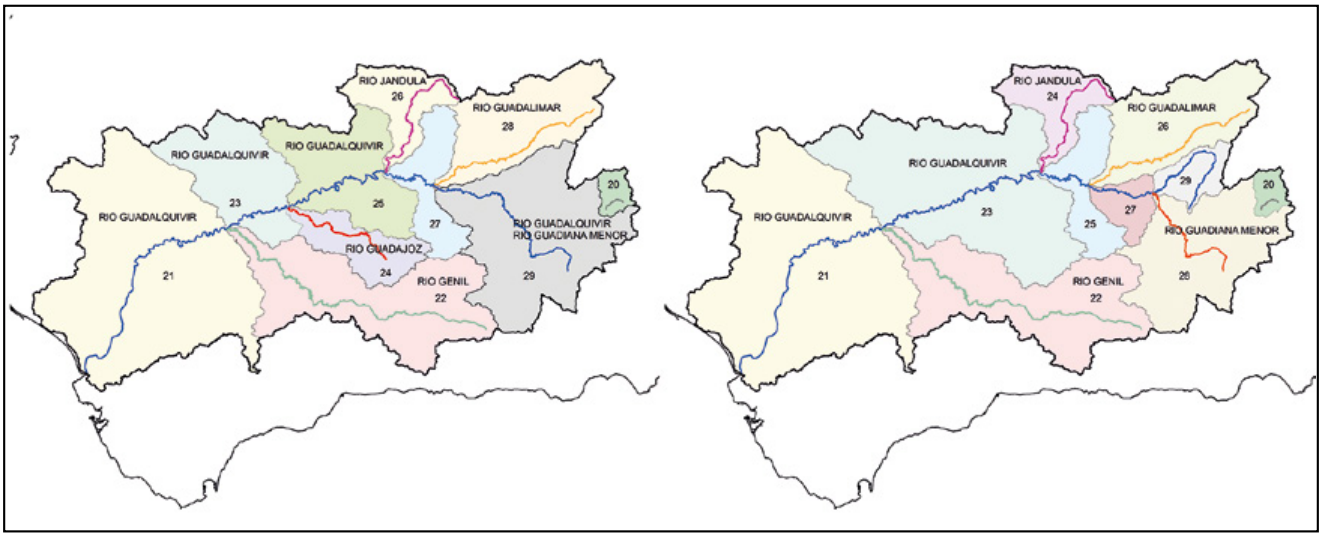



**Figura 23.** Clasificación del río Guadalquivir por extensión de cuencas y por nombres.

complicación adicional porque obliga al estudio de la hidronimia y a su normalización ortográfica.

## 4.2. Códigos de inicio de la clasificación

La clasificación de Pfafstetter se aplica a ríos y cuencas de un tramo de costa. Existe una propuesta europea para la definición de los tramos de costa para la aplicación del método a toda Europa. En Jager y Vogt (2010) se proponen unos códigos iniciales válidos para todas las costas de Europa donde se distinguen mares y regiones marinas (figura 24).

España queda encuadrada entre el océano Atlántico abierto **A1**, que abarca desde Islandia hasta la Punta de Tarifa pasando por las costas atlánticas escocesas, irlandesas y francesas, y el mar Mediterráneo occidental **M2**, desde la Punta de Tarifa hasta Sicilia.

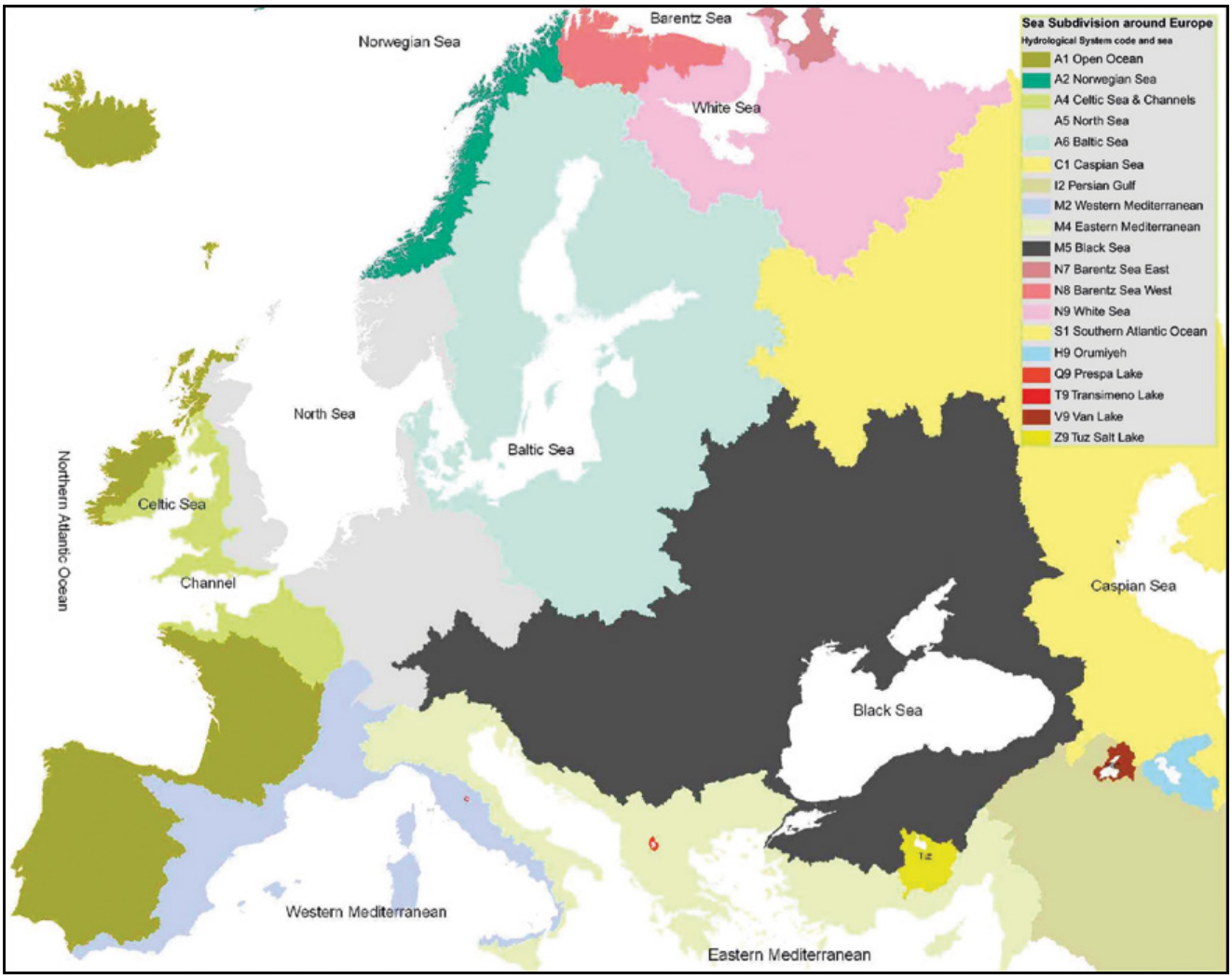



**Figura 24.** Clasificación inicial de océanos y regiones marinas (Jager y Vogt, 2010).

Jager y Vogt (2010) proponen a continuación añadir 2 dígitos para distinguir los ríos continentales de los isleños. Todos los ríos y cuencas peninsulares españoles empiezan con **A100** o **M200**. Las islas se numeran según la distancia a la costa y según el orden de aparición en la costa del punto más cercano a la isla. Aplicando este criterio a las islas españolas de más de 2 km de longitud, y sin tener en cuenta el resto de las islas europeas, quedan clasificadas tal y como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación de las islas

| Archipiélago | Isla | Clasificación |
|---|---|---|
| Canarias | Alegranza | A01 |
| | Montaña Clara | A02 |
| | Graciosa | A03 |
| | Lanzarote | A04 |
| | Islote de los Lobos | A05 |
| | Fuerteventura | A06 |
| | Gran Canaria | A07 |
| | Tenerife | A08 |
| | La Palma | A09 |
| | La Gomera | A10 |
| | El Hierro | A11 |
| Baleares | Formentera | M01 |
| | Espalmador | M02 |
| | Ibiza | M03 |
| | Conejera (Ibiza) | M04 |
| | Cabrera | M05 |
| | Dragonera | M06 |
| | Mallorca | M07 |
| | Menorca | M08 |

Para armonizar esta clasificación con el resto de Europa se deberán cambiar estos dígitos insulares, tarea muy sencilla que no afecta al resto de la clasificación.

Para clasificar correctamente Ceuta y Melilla se deben clasificar todos los ríos de la costa africana, clasificación que no se ha llevado a cabo en este trabajo. Se han clasificado ambas como si fueran islas, Melilla como M220 y Ceuta como M221.

Para seleccionar los ríos de primer orden de las costas españolas, se consultaron las coberturas elaboradas por el JRC, la geodatabase 'CCM River and Catchment Database' (EC, 2003) donde se aplican estos criterios para toda Europa. Adoptando sus criterios, los 4 mayores ríos de la costa del Atlántico abierto A100 son el Sena A1002, el Duero A1004, el Tajo A1006 y el Guadiana A1008. En la costa mediterránea occidental M200, los 4 grandes ríos son el Júcar M2002, el Ebro M2004, el Ródano M2006 y el Tiber M2008. De esta manera, los ríos peninsulares del territorio español y sus intercuencas se clasifican tal y como se muestra en la figura 25.

Estas cuencas se denominan en la literatura especializada como 'ottocuencas' en honor a su creador Otto Pfafstetter.

## 4.3. Clasificación de la red fluvial completa

Con las coberturas de ríos y cuencas preparados, junto con el MDD y el MAF, se procedió a la clasificación de toda la red fluvial por ottocuencas. Se recortaron todas las coberturas por las fronteras y se unieron en coberturas nacionales. Se clasificaron 173.174 ríos completos y 333.583 cuencas.

Para representar los ríos clasificados con claridad se adoptó un código de colores de acuerdo con el orden del río según Pfafstetter (figura 26).

**Figura 25.** Clasificación de Pfafstetter de las cuencas peninsulares de primer orden en territorio español.

**Figura 26.** Ríos clasificados de toda España.

## 5. LA ESPAÑA DE LAS OTTOCUENCAS

La nueva clasificación hidrográfica propuesta en este trabajo proporciona una nueva visión de la hidrografía española, que puede expresarse como 'la España de las ottocuencas'. En la figura 27 se muestran los ríos y cuencas clasificados de primer y segundo orden en la España peninsular, y en la figura 28, como ejemplo de clasificación de las islas, la clasificación de la isla de Mallorca.

Como la clasificación de los ríos se ha realizado siguiendo los nombres de los ríos, fue posible efectuar una caracterización física y geomorfológica de las cuencas vertientes a los ríos completos, aprovechando la capacidad de los SIG para ello.

Se partió de parámetros obtenidos directamente de la cobertura de cuencas de tramos de ríos clasificados, así como de la cobertura matricial del MDT de 25 m de resolución proporcionado por el IGN:

- L: Longitud del tramo de río (m)
- P: Perímetro de la cuenca del tramo (km)
- A: Área de la cuenca del tramo (km$^2$)
- $C_m$: Altitud máxima dentro de la cuenca del tramo de río (msnm)
- $C_n$: Altitud mínima dentro de la cuenca vertiente del tramo de río (msnm)

A partir de estos valores se calcularon los siguientes parámetros físicos (Ibáñez Asensio et al., 2011):

- $K_C$: Coeficiente de compacidad de Gravelius (-)
- Rectángulo equivalente. Lado mayor y lado menor (km)
- W: Ancho o amplitud de cuenca (km)
- F: Factor de forma de Horton (-)
- $H_V$: Desnivel máximo dentro de la cuenca vertiente (m)
- $P_M$: Pendiente media de la cuenca (m/m):
- $I_P$: Índice de pendiente (-)
- $D_V$: Densidad de drenaje (km/km$^2$)
- $T_C$: Tiempo de concentración (h) (Témez, 1991)

El coeficiente de forma y el rectángulo equivalente se calcularon con un perímetro suavizado aproximado, ya que por el carácter fractal tanto de la longitud de los ríos como del perímetro de sus cuencas, dependientes de la escala del trazado (Breyer y Snow, 1992), con los valores extraídos de las coberturas se obtenían valores absurdos. El tiempo de concentración (Témez, 1991) se ha estimado en cuencas vertientes menores de 3.000 km$^2$ y tiempos de concentración menores de 24 horas. Los parámetros relacionados con la longitud del río y el área de la cuenca vertiente sólo se han estimado en cuencas mayores de 1 km$^2$ ya que para cuencas muy pequeñas pierden sentido (EC, 2000).

En las tablas 2 y 3 se muestran algunos de los datos físicos y geomorfológicos de los ríos peninsulares de primer y segundo orden según esta clasificación.

Las posibles aplicaciones de la clasificación de ríos y cuencas efectuadas en este trabajo son múltiples. A continuación se enumeran algunas sencillas e inmediatas.

Es posible obtener las cuencas aguas arriba y aguas abajo de una dada mediante la adecuada lectura de los códigos de la clasificación de Pfafstetter (figura 29).

La obtención del MDD consistente con la red fluvial permite obtener cuencas vertientes a un punto cualquiera del territorio o el trazado seguido por un vertido (figura 30).

Los datos físicos y geomorfológicos de los ríos permiten clasificar los ríos por su forma, como por ejemplo seleccionar la cuenca más redonda o la más alargada (figura 31) por su coeficiente de compacidad.

El tratamiento de la hidronimia en base de datos permite interrogarla y responder a preguntas como por ejemplo cuantos ríos se llaman Manzanares (tabla 4).

**Figura 27.** Ottocuencas peninsulares de primer y segundo orden.

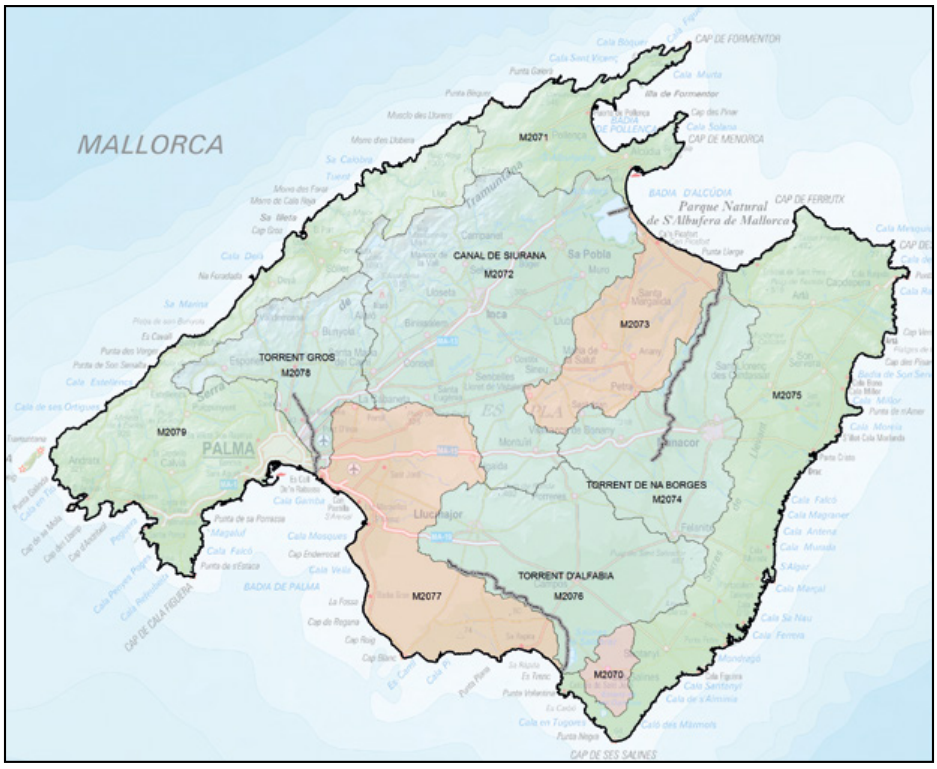



**Figura 28.** Ottocuenca M208: isla de Mallorca. Ottocuencas de primer orden.

**Tabla 2.** Datos físicos y geomorfológicos de los ríos peninsulares de primer y segundo orden (I)

| Mar | Pfafrio | Nombre del río | Long. río (km) | Área cuenca km² | Perím. km | Long. río más largo (km) | Cota máx. | Cota mín. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 10038 | RIO MIÑO | 316,2 | 16.285,85 | 1.143,36 | 347,01 | 2.177 | 0 |
| A | 1004 | RIO DUERO | 729,46 | 78.864,63 | 2.317,40 | 606,74 | 2.587 | 115 |
| A | 10042 | RIO TORMES | 248,39 | 7.125,48 | 613,15 | 255,62 | 2.587 | 325 |
| A | 10044 | RIO ESLA | 285,54 | 16.094,28 | 830,05 | 295,52 | 2.484 | 577 |
| A | 10046 | RIO ADAJA | 171,53 | 5.332,69 | 492,52 | 171,53 | 2.425 | 677 |
| A | 10048 | RIO PISUERGA | 284,23 | 15.757,23 | 809,78 | 290,23 | 2.530 | 667 |
| A | 1006 | RIO TAJO | 847,3 | 55.781,14 | 2.016,78 | 860,04 | 2.570 | 104 |
| A | 10064 | RIO ALAGON | 206,67 | 5.417,96 | 488,43 | 209,23 | 2.428 | 216 |
| A | 10066 | RIO TIETAR | 174,42 | 4.463,28 | 422,87 | 176,6 | 2.570 | 218 |
| A | 10068 | RIO JARAMA | 201,31 | 11.585,18 | 649,27 | 250,78 | 2.427 | 482 |
| A | 1008 | RIO GUADIANA | 700,04 | 55.422,31 | 2.349,37 | 742,33 | 1.590 | 0 |
| A | 10082 | RIO ARDILA | 115,93 | 2.804,45 | 420,5 | 133,77 | 1.101 | 146 |
| A | 10084 | RIO ZUJAR | 211,06 | 8.540,77 | 631,73 | 214,94 | 1.264 | 252 |
| A | 10086 | RIO CIGUELA | 150,79 | 3.569,67 | 501,67 | 150,79 | 1.183 | 625 |
| A | 10088 | RIO ZANCARA | 166,25 | 5.753,62 | 566,62 | 166,79 | 1.174 | 631 |
| A | 10092 | RIO ODIEL | 118,41 | 4.057,84 | 386,28 | 132,4 | 923 | 0 |
| A | 10094 | RIO GUADALQUIVIR | 649,37 | 57.078,46 | 1.966,11 | 712,17 | 3.475 | 0 |
| A | 10096 | RIO GUADALETE | 171,44 | 3.283,08 | 438,22 | 195,97 | 1.650 | 0 |
| A | 10098 | RIO BARBATE | 77,56 | 1.292,50 | 223,78 | 83,18 | 1.090 | 0 |
| M | 20012 | RIO GUADALHORCE | 157,76 | 3.348,50 | 348,36 | 158,04 | 1.863 | 0 |
| M | 20014 | RIO ALMANZORA | 100,54 | 2.596,23 | 325,49 | 116,25 | 2.162 | 0 |
| M | 20016 | RIO SEGURA | 325,43 | 15.984,11 | 902,44 | 341,85 | 2.072 | 0 |
| M | 20018 | RIO VINALOPO | 104,55 | 2.479,12 | 456,37 | 107,38 | 1.261 | 0 |
| M | 2002 | RIO JUCAR | 504,31 | 21.023,18 | 1.166,30 | 508,5 | 1.864 | 0 |
| M | 20022 | RIO MAGRO | 125,06 | 1.584,14 | 359,25 | 163,95 | 1.420 | 15 |
| M | 20024 | RIO ALBAIDA | 46,35 | 1.221,73 | 224,33 | 76,22 | 1.122 | 26 |
| M | 20026 | RIO CABRIEL | 276,82 | 4.717,88 | 539,06 | 276,83 | 1.832 | 313 |
| M | 20034 | RIO TURIA O GUADALAVIAR | 287,22 | 6.333,06 | 770,41 | 312,85 | 2.022 | 0 |
| M | 20036 | RIO PALANCIA | 89,48 | 980,09 | 227 | 101,62 | 1.614 | 0 |
| M | 20038 | RIO MIJARES | 160,47 | 4.045,98 | 450 | 167,08 | 2.023 | 0 |
| M | 2004 | RIO EBRO | 938,32 | 84.897,57 | 2.574,78 | 961,12 | 3.392 | 0 |
| M | 20042 | RIO SEGRE | 254,8 | 21.828,28 | 1.001,23 | 260,27 | 3.392 | 70 |
| M | 20044 | RIO GALLEGO | 202,23 | 4.060,63 | 518,07 | 209,21 | 3.108 | 190 |
| M | 20046 | RIO JALON | 234,43 | 10.173,93 | 777,4 | 271,92 | 1.743 | 207 |
| M | 20048 | RIO ARAGON | 199,72 | 8.525,17 | 647,16 | 203,12 | 2.875 | 256 |
| M | 20052 | RIO LLOBREGAT | 162,3 | 4.999,41 | 475,41 | 171,62 | 2.541 | 0 |
| M | 20054 | RIO TER | 215,76 | 2.991,85 | 495,53 | 215,92 | 2.911 | 0 |

**Tabla 3.** Datos físicos y geomorfológicos de los ríos peninsulares de primer y segundo orden (II)

| Mar | Pfafrio | Nombre del río | Desnivel | Kc | L mayor | L menor | Im | Ip | W | F | Dv |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 10038 | RIO MIÑO | 2.177 | 1,626 | 316,22 | 51,5 | 0,006 | 0,079 | 46,93 | 0,135 | 1,05 |
| A | 1004 | RIO DUERO | 2.472 | 1,379 | 540,78 | 145,83 | 0,004 | 0,064 | 129,98 | 0,214 | 0,92 |
| A | 10042 | RIO TORMES | 2.262 | 1,376 | 161,83 | 44,03 | 0,009 | 0,094 | 27,88 | 0,109 | 0,88 |
| A | 10044 | RIO ESLA | 1.907 | 1,188 | 175,33 | 91,8 | 0,007 | 0,080 | 54,46 | 0,184 | 1,04 |
| A | 10046 | RIO ADAJA | 1.748 | 1,297 | 125,32 | 42,55 | 0,010 | 0,101 | 31,09 | 0,181 | 0,84 |
| A | 10048 | RIO PISUERGA | 1.863 | 1,173 | 165,91 | 94,98 | 0,006 | 0,080 | 54,29 | 0,187 | 0,93 |
| A | 1006 | RIO TAJO | 2.466 | 1,453 | 495,92 | 112,48 | 0,003 | 0,054 | 64,86 | 0,075 | 1,02 |
| A | 10064 | RIO ALAGON | 2.212 | 1,275 | 121,89 | 44,45 | 0,011 | 0,103 | 25,89 | 0,124 | 1,15 |
| A | 10066 | RIO TIETAR | 2.352 | 1,228 | 101,49 | 43,98 | 0,013 | 0,115 | 25,27 | 0,143 | 1,08 |
| A | 10068 | RIO JARAMA | 1.945 | 1,114 | 107,63 | 107,63 | 0,008 | 0,088 | 46,2 | 0,184 | 0,91 |
| A | 1008 | RIO GUADIANA | 1.590 | 1,699 | 619,51 | 89,46 | 0,002 | 0,046 | 74,66 | 0,101 | 0,93 |
| A | 10082 | RIO ARDILA | 955 | 1,579 | 125,92 | 22,27 | 0,007 | 0,085 | 20,97 | 0,157 | 1,29 |
| A | 10084 | RIO ZUJAR | 1.012 | 1,283 | 155,01 | 55,1 | 0,005 | 0,069 | 39,74 | 0,185 | 1,11 |
| A | 10086 | RIO CIGUELA | 558 | 1,649 | 150,95 | 23,65 | 0,004 | 0,061 | 23,67 | 0,157 | 0,45 |
| A | 10088 | RIO ZANCARA | 543 | 1,431 | 155,32 | 37,04 | 0,003 | 0,057 | 34,5 | 0,207 | 0,53 |
| A | 10092 | RIO ODIEL | 923 | 1,183 | 86,79 | 46,76 | 0,007 | 0,084 | 30,65 | 0,231 | 1,47 |
| A | 10094 | RIO GUADALQUIVIR | 3.609 | 1,399 | 471,3 | 121,11 | 0,005 | 0,071 | 80,15 | 0,113 | 1,09 |
| A | 10096 | RIO GUADALETE | 1.650 | 1,508 | 127,41 | 25,77 | 0,008 | 0,092 | 16,75 | 0,085 | 0,95 |
| A | 10098 | RIO BARBATE | 1.090 | 1,288 | 60,88 | 21,23 | 0,013 | 0,115 | 15,54 | 0,187 | 1,17 |
| M | 20012 | RIO GUADALHORCE | 1.863 | 1,186 | 79,55 | 42,1 | 0,012 | 0,109 | 21,19 | 0,134 | 1,20 |
| M | 20014 | RIO ALMANZORA | 2.165 | 1,275 | 84,42 | 30,75 | 0,019 | 0,137 | 22,33 | 0,192 | 1,53 |
| M | 20016 | RIO SEGURA | 2.072 | 1,296 | 216,79 | 73,73 | 0,006 | 0,078 | 46,76 | 0,137 | 1,07 |
| M | 20018 | RIO VINALOPO | 1.261 | 1,834 | 144,74 | 17,13 | 0,012 | 0,108 | 23,09 | 0,215 | 0,93 |
| M | 2002 | RIO JUCAR | 1.864 | 1,440 | 300,1 | 70,05 | 0,004 | 0,061 | 41,34 | 0,081 | 0,92 |
| M | 20022 | RIO MAGRO | 1.405 | 1,849 | 116,87 | 13,56 | 0,009 | 0,093 | 9,66 | 0,059 | 0,88 |
| M | 20024 | RIO ALBAIDA | 1.096 | 1,332 | 63,23 | 19,32 | 0,014 | 0,120 | 16,03 | 0,210 | 1,34 |
| M | 20026 | RIO CABRIEL | 1.519 | 1,519 | 154,34 | 30,57 | 0,006 | 0,074 | 17,04 | 0,062 | 1,04 |
| M | 20034 | RIO TURIA O GUADALAVIAR | 2.022 | 1,845 | 233,08 | 27,17 | 0,007 | 0,080 | 20,24 | 0,065 | 1,06 |
| M | 20036 | RIO PALANCIA | 1.614 | 1,523 | 70,62 | 13,88 | 0,016 | 0,126 | 9,64 | 0,095 | 1,13 |
| M | 20038 | RIO MIJARES | 2.023 | 1,38 | 122,59 | 33 | 0,012 | 0,11 | 24,22 | 0,145 | 1,09 |
| M | 2004 | RIO EBRO | 3.392 | 1,471 | 623,87 | 136,08 | 0,004 | 0,059 | 88,33 | 0,092 | 0,98 |
| M | 20042 | RIO SEGRE | 3.322 | 1,211 | 216,16 | 100,98 | 0,013 | 0,113 | 83,87 | 0,322 | 0,96 |
| M | 20044 | RIO GALLEGO | 2.918 | 1,586 | 152,46 | 26,63 | 0,014 | 0,118 | 19,41 | 0,093 | 0,95 |
| M | 20046 | RIO JALON | 1.536 | 1,433 | 207,09 | 49,13 | 0,006 | 0,075 | 37,42 | 0,138 | 1,08 |
| M | 20048 | RIO ARAGON | 2.619 | 1,315 | 162,94 | 52,32 | 0,013 | 0,114 | 41,97 | 0,207 | 1,02 |
| M | 20052 | RIO LLOBREGAT | 2.541 | 1,297 | 121,4 | 41,18 | 0,015 | 0,122 | 29,13 | 0,170 | 1,27 |
| M | 20054 | RIO TER | 2.911 | 1,795 | 154,71 | 19,34 | 0,014 | 0,116 | 13,86 | 0,064 | 1,52 |

**Tabla 4.** Ríos que contienen el hidrónimo Manzanares

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A | 1004991228 | RIO MANZANARES | 185 | RIO |
| A | 100673452 | ARROYO DE ALMADRAQUE Y ARROYO MANZANARES | 10 | ARROYO |
| A | 1006619842 | ARROYO MANZANARES | 10 | ARROYO |
| A | 1006431632 | ARROYO MANZANARES | 10 | ARROYO |
| A | 100684 | RIO MANZANARES | 185 | RIO |
| A | 10094164962 | ARROYO DE MANZANARES | 10 | ARROYO |
| M | 20048923174 | BARRANCO DE LOS MANZANARES | 16 | BARRANCO |
| M | 20049184 | RIO MANZANARES | 185 | RIO |

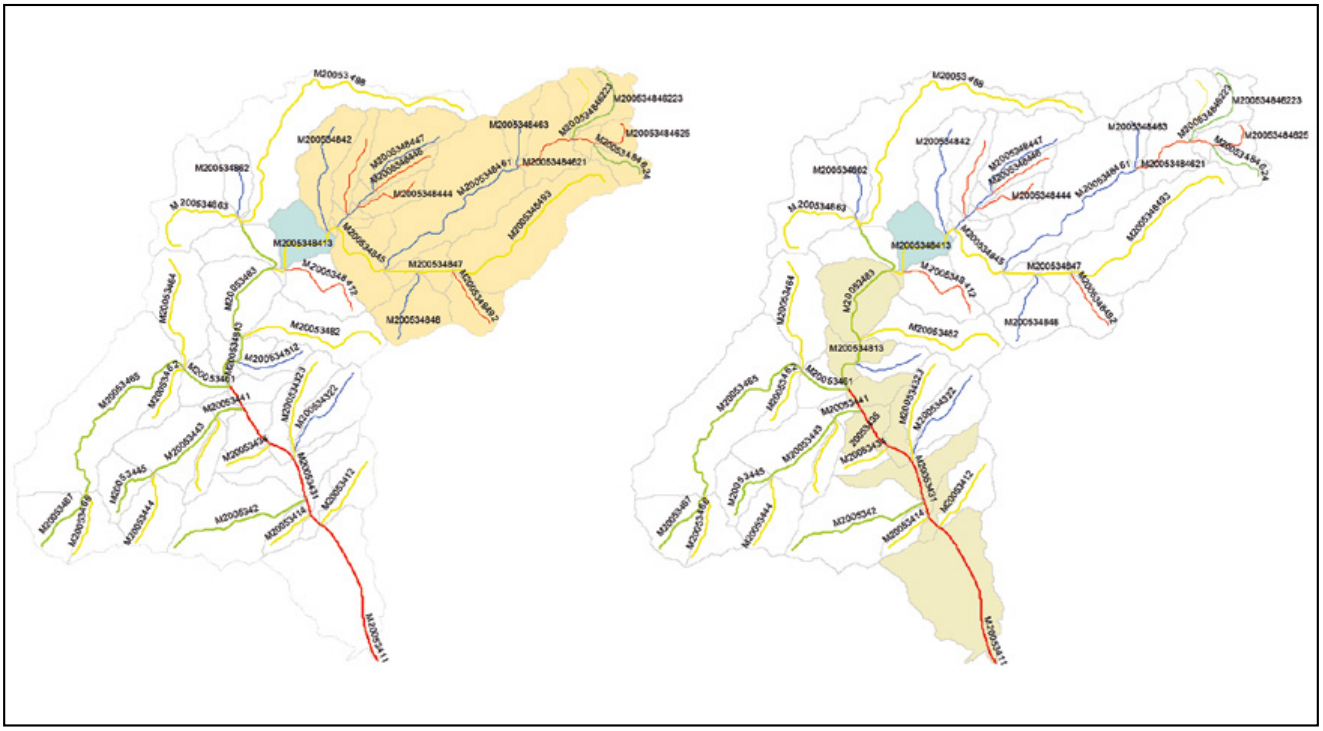


**Figura 29.** Cuencas aguas arriba y aguas abajo de una dada.

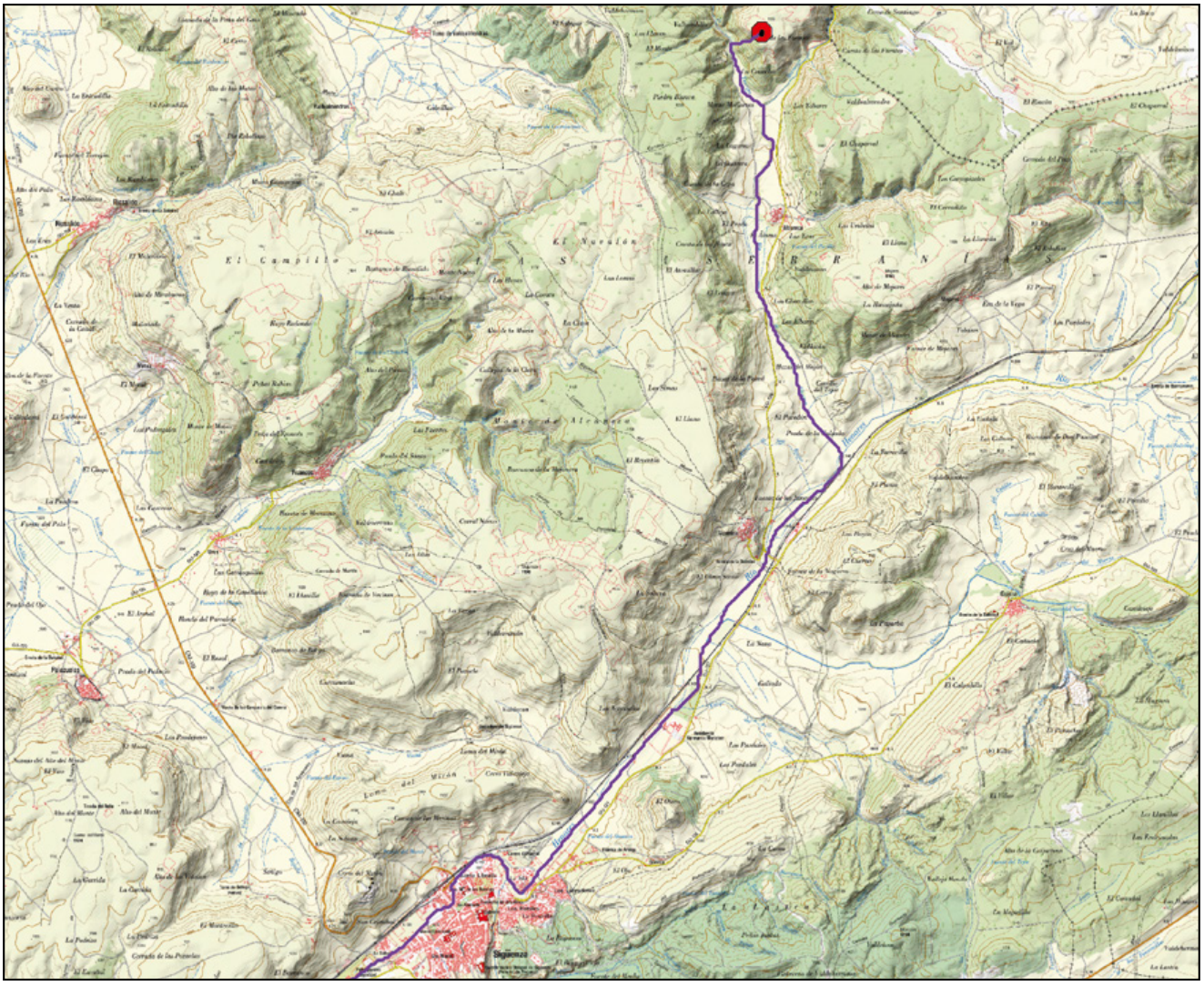


**Figura 30.** Trazado de un vertido en un punto cualquiera del territorio.

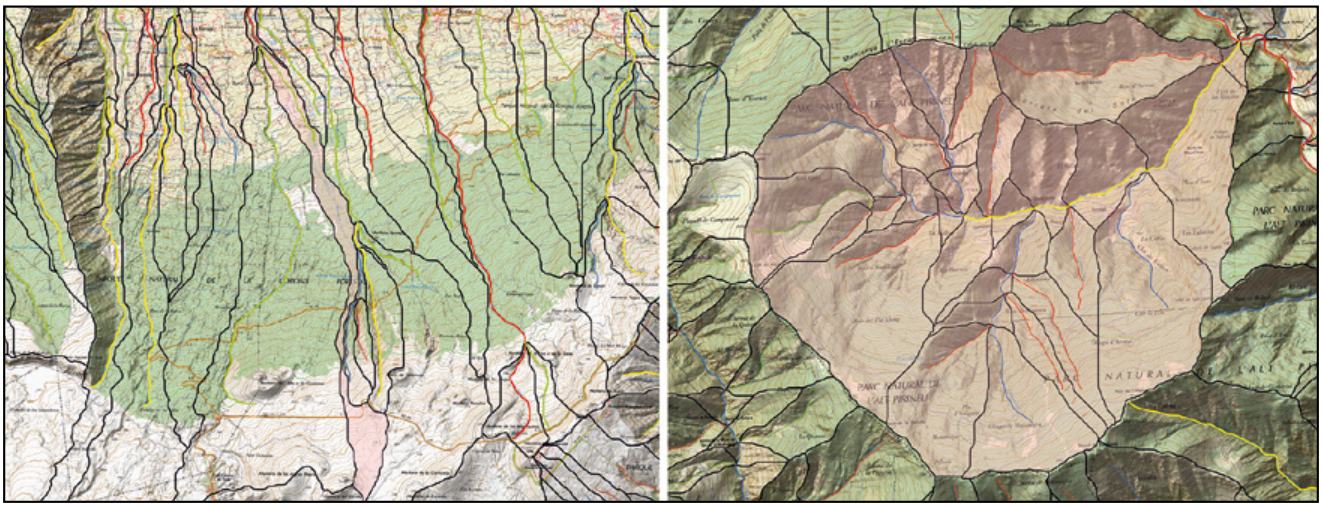


**Figura 31.** La cuenca más alargada (barranco del Caramujo A1089622 en Gran Canaria) y la más redonda M20042692 (río Baiasca en el Ebro).

## 6. CONCLUSIONES

La clasificación por el método de Pfafstetter modificado de todos los ríos españoles realizada en este trabajo proporciona una herramienta de gran utilidad para su utilización en numerosos campos de la ciencia y la técnica. La clasificación propone unos criterios que proporcionan una nueva ordenación de los ríos y facilitan la incorporación de todo tipo de datos asociados a ellos en bases de datos, sistemas de información geográfica y servidores de mapas Web. Además el proceso de clasificación ha producido unas coberturas geográficas de ríos y cuencas de gran utilidad ya que proporcionan un modelo hidrográfico simplificado de la red fluvial consistente y completo. Los mapas matriciales de direcciones de drenaje y de acumulación de flujo pueden ser utilizados en múltiples trabajos.

Está en imprenta una monografía del CEDEX relativa a este trabajo en la que se incluye un DVD con las coberturas geográficas resultantes (ríos, cuencas vertientes, MDD y MAF).

## 7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo, labor de varios años, no hubiera sido posible sin la colaboración, paciente y a menudo abnegada, de un reducido grupo de técnicos, expertos en SIG: Mª Carmen Ángel Martínez y Laura Hernández Sánchez del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, Rubén Hierro Rodríguez desde Tragsatec y Jesús García Villar, desde Tragsatec y luego desde ServiGIS. También fue imprescindible la aportación por parte del IGN de toda la cartografía digital.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre M., et al. (2003). *Manual de procedimientos para la delimitación y codificación de cuencas hidrográficas del Perú*. Perú: INRENA.

Amorim Texeira de, A. (2012). *Ottocodificação estendida e inteligência hidrográfica em banco de dados geográficos*. Tesis doctoral. Instituto de Geociencias. Brasil.

Balairón L., et al. (2003). Balance hídrico en Honduras. *Ingeniería Civil*, 131, pp. 49-61.

Breyer, S., y Snow S. (1991). Drainage basin parameters: a fractal significance. *Geomorphology*, 5 (1), pp. 143-157.

Cabral, Néstor. (2011). *Criterios técnicos de delimitación y codificación de cuencas, caso específico región oriental del Paraguay*. Dirección General de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos. SEAM. Secretaría del Ambiente. Presidencia de la República. Paraguay.

COPLANARH (1969). *Clasificación decimal de los ríos de Venezuela*. Comisión del Plan Nacional del Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Venezuela.

Delaney., et al. (2011). Towards a Stream Hierarchy and Classification System for Victorian Waterways. *Proceedings of the Surveying & Spatial Sciences Biennal Conference, Wellington (Nueva Zelanda)*.

European Commission (2000). Deriving drainage networks and catchment boundaries at the European scale. A new approach combining digital elevation data and environmental characteristics. R. Colombo et al. EuroLandscape Project.

European Commission (2003). *CCM River and Catchment Database*. Agri-Environment Action. Catchment Characterisation and Modelling (CCM).

European Commission (2003a). *Implementing the Geographical Information System Elements (GIS) of the Water Framework Directive*. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance document no. 9. Working Group 3.1 GIS.

European Commission (2009). *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*. Guidance document no. 22. Updated Guidance on Implementing the Geographical Information System (GIS) Elements of the EU Water policy.

Felicísimo, A. M. (1994). *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Biblioteca de Historia Natural. Oviedo: Pentalfa.

Flavin, R. W., et al. (1998). *ERICA–European Rivers and Catchments. A report to the European Agency on the compilation of a 1.1 M catchment Geographic digital database (ERICA-1M) and two pilot studies*. Wallingford (Reino Unido): The Institute of Hydrology.

Horton, R. E. (1945). Erosional Development of Streams and their Drainage Basins; Hydrological Approach to Quantitative Morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 45, pp. 275-370.

Ibáñez Asensio, S., et al. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Universidad Politécnica de Valencia.

Jager De, A., y Vogt J. (2010). Development and demostration of a structured hydrological feature coding system for Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (5), pp. 661-675.

MAGA (2009). *Mapa de cuencas hidrográficas a escala 1:50.000. República de Guatemala. Método de Pfafstetter (primera aproximación). Memoria técnica y descripción de resultados*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Guatemala.

MAGRAMA (2000). *Libro Blanco del Agua*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Gobierno de España).

MMAyA (2010). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Bolivia. Metodología Pfafstetter*. Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Bolivia.

MOP (1965). *Datos físicos de las corrientes clasificadas por el C.E.H*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas.

Nery, F., et al. (2001). Development of an Indirect Spatial Reference System for the Portuguese River Basins. *Proceedings of the 16TH Europe, Middle East and Africa ESRI User Conference 2001*.

Olivera, F. (2001). Extracting Hydrologic Information from Spatial Data for HMS Modeling. *Journal of Hydrologic Engineering*, 6 (6), pp. 524-530.

Pfafstetter, O. (1989). *Clasificación de cuencas hidrográficas: una metodología de codificación*. Manuscrito no publicado. Departamento Nacional de Obras de Saneamiento. Brasil.

Quintas, L. (1996). La base de datos hidrológicos 'HIDRO' del CEDEX. *Ingeniería Civil*, 104, pp. 117-126.

Robredo, J. C., et al. (2011). Elaboración de un sistema integral de codificación y almacenamiento de elementos hidrológicos (SICAEH). *Quinto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Santiago de Estero. Argentina.*

Rosas, A. (2011). *Propuesta de delimitación y codificación de unidades hidrográficas de la cuenca del río Esmeraldas, escala 1:50.000, por el método de Pfafstetter, mediante el uso de sistemas de información geográfica*. Secretaría Nacional del Agua. Ecuador.

Ruiz, R., y Torres, H. (2010). *Manual de procedimientos. Delimitación y codificación de unidades hidrográficas*. Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Bolivia.

Shreve, R. L. (1966). Statistical Law of Stream Numbers. *The Journal of Geology*, 74 (1), pp. 17-37.

Stein, J. L., y Hutchinson, M. F. (2008). *A review of nested catchment reference systems for Version 1.0 of the National Catchments and Reporting Units*. Report to the Bureau of Meteorology. Fener School of Environment and Society. The Australian National University Canberra (Australia).

Strahler, Arthur N. (1957). Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *EOS*, 38 (6), pp. 913-920.

Témez, J. R. (1991). Generalización y mejora del método racional. Versión de la Dirección General de Carreteras de España. *Ingeniería Civil*, 82, pp. 51-56.

UICN SUR (2008). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas. Sudamérica – nivel 3*. Oficina para América del Sur. Secretaría General de la Comunidad Andina. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

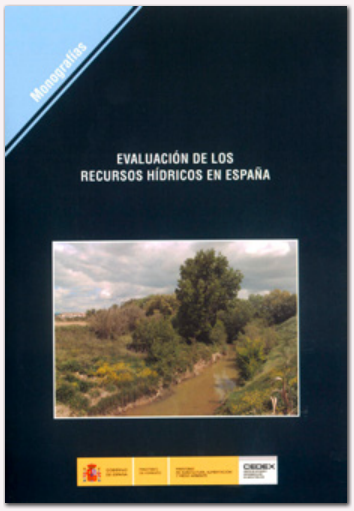
USGS (1987). *Hydrologic Unit Maps*. U. S. Geological Survey, Water Supply Paper 2294. USGS (EE UU).

Verdin, K., y Jenson S. (1996). Development of continental scale DEMs and extraction of hydrographic features. *Proceedings of the Third International Conference on GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, New Mexico (EE UU), 1996*.

Verdin K. L., y Verdin, J. P. (1999). A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins. *Journal of Hydrology*, 218, pp. 1-12.

Vogt, J. (2002). Implementing the GIS elements of the Water Framework Directive. EuroLandscape Project. European Commission.

# EDICIONES DEL CEDEX




**Evaluación de los recursos hídricos de España**
Autores: Javier Álvarez Rodríguez, José Julio Villaverde Valero, Luis Miguel Barranco
Serie Monografías: M-129
ISBN: 978-84-7790-525-7
Año: 2015
P.V.P.: 35€

La monografía presenta trabajos realizados en el Centro de Estudios Hidrográficos para la Dirección General del Agua (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) sobre la estimación de los recursos hídricos de España en régimen natural mediante la simulación del ciclo hidrológico con una metodología homogénea y contrastada en el conjunto de España. La simulación hidrológica se realiza con la versión cuasi distribuida del modelo de Témez del Sistema Integrado de Modelación Precipitación-Aportación (SIMPA) desarrollado en el CEDEX sobre el Sistema de Información Geográfica SIG-GRASS. El modelo hidrológico simula el proceso de transformación de precipitación en escorrentía, contemplando la dinámica de almacenamiento del agua en suelos y acuíferos. Se implementa sobre los aproximadamente 505.000 km$^2$ de superficie de España, discretizada finalmente en unas 2.000.000 de celdas de una resolución espacial de 500 m. Se ha simulado el ciclo hidrológico con paso mensual entre los años hidrológicos 1940/41 y 2005/06 (66 años). La escala temporal mensual es suficiente para tratar la secuencia intranual de estaciones húmedas y secas y maximiza el número de años de simulación para recoger las secuencias plurianuales de ciclos húmedos y secos. La tarea de simulación hidrológica distingue dos apartados: la fase atmosférica y la terrestre. El tratamiento de la fase atmosférica consiste en el cálculo mensual de precipitación, temperaturas, máximas, mínimas y medias, y evapotranspiración potencial (ETP) en cada una de las celdas de España. El procedimiento tiene en cuenta las incertidumbres derivadas de las redes meteorológicas respecto a la falta de integridad de las series históricas registradas, la existencia de errores en las medidas y la falta de representatividad de los registros en zonas como la montaña donde, precisamente, se esperan mayores tasas de precipitación, menores de evapotranspiración y mayores de recurso generado.

El tratamiento de la fase terrestre consiste en aplicar las leyes del modelo de Témez a las variables climáticas para obtener series de mapas mensuales de las principales variables hidrológicas: evapotranspiración real, humedad en el suelo, recarga de los acuíferos, aportación total, superficial y subterránea. Estos mapas se expresan en términos específicos; es decir, volúmenes de agua respecto al área de cada celda en las que se subdivide el territorio nacional. La disponibilidad de los modelos de direcciones de drenaje permite estimar de las anteriores los flujos de agua acumulados en la red hidrográfica.

El presente trabajo es continuación de otros similares ya realizados dentro del proceso de planificación hidrológica como las evaluaciones de recursos hídricos del Libro Blanco del Agua en España y del Plan Hidrológico Nacional.

**Pedidos:** Tienda Publicaciones CEDEX. C/ Alfonso XII, 3 | 28014, Madrid. Tlf.: (+34) 91 335 72 95 | Fax: (+34) 91 335 72 49 | publicaciones@cedex.es

# Innovar está en nuestros genes

En Repsol, la innovación forma parte de nuestra esencia. Por eso, en el Centro de Tecnología Repsol dedicamos todo nuestro esfuerzo a la investigación y desarrollo de asfaltos que hacen nuestras carreteras más seguras, eficientes y sostenibles.

REPSOL

*Inventemos el futuro*

Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.
Más información en ***repsol.com***

# EDICIONES DEL CEDEX

**Análisis de riesgo de las amenazas del sistema ferroviario. Aplicación de los métodos comunes de seguridad.**

Autores: Fernando Montes Ponce de León, Javier Moreno de Mesa, Gustavo González Castro, Jorge Nasarre de Goicoechea, Ignacio Ribera Sánchez, Juan José Cartagena Abella, Santiago González Kaendler y Carlos Porta Rodríguez

Serie Monografías: M-114
ISBN: 978-84-7790-535-6
Año: 2012
P.V.P.: 25€

Este libro que se presenta, es el compendio del trabajo realizado por un grupos de expertos bajo la dirección del Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria del CEDEX en el área de la seguridad del sistema ferroviario, para la identificación de aquellas amenazas significativas y su riesgo asociado que, en determinadas circunstancias, pueden interferir en el correcto funcionamiento del sistema ferroviario y que, por tanto, deben ser examinadas con especial atención en los procesos de evaluación de los diferentes subsistemas constitutivos del ferrocarril así como en las fases previas de obtención del Certificado de Seguridad para la puesta en servicio de los mismos. Estas amenazas determinan requisitos esenciales de seguridad a tener en cuenta en los Safety Cases de las diferentes instalaciones o equipos para la concesión de la autorización de circulación de un nuevo vehículo o apertura de una línea o sección de línea. La metodología empleada en el proceso sigue las recomendaciones dadas por la ERA relativas a los Métodos Comunes de Seguridad (MCS) para el análisis del riesgo de amenazas y los criterios y los criterios expuestos en la EN 50126. La estructura que da cuerpo a todo el trabajo, es la Base de Datos General de Amenazas Significativas, Hazard Log, obtenida de la identificación y análisis de las amenazas realizado por un grupo de expertos en base a su experiencia, sobre cada uno de los subsistemas establecidos en las ETIs. De las amenazas consideradas se presentan unos Informes en los cuales, además de realizar una breve exposición de la amenaza y porqué se ha considerado, se incluyen las causas, que a juicio del experto, determinan la amenaza y las recomendaciones a seguir para reducir o mitigar su riesgo, es decir, los requisitos esenciales que a la hora de realizar el proyecto se deben tener en cuenta para mitigar o reducir el riesgo de la amenaza. En definitiva, este libro constituye una herramienta importante de ayuda en el seguimiento de la seguridad del sistema ferroviario y tiene también como objetivo la transmisión de experiencia sobre el funcionamiento real de los subsistemas ferroviarios y de sus puntos más críticos.

**Pedidos:** Tienda Publicaciones CEDEX. C/ Alfonso XII, 3 | 28014, Madrid. Tlf.: (+34) 91 335 72 95 | Fax: (+34) 91 335 72 49 | publicaciones@cedex.es