

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DINÁMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA RECIENTE DE LAS BARRAS DE MEANDRO EN EL CURSO MEDIO DEL EBRO

Autor: Joaquín Viñas Viñuales

Director: Alfredo Ollero Ojeda

Máster Universitario en

**Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del
territorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

Noviembre de 2021

Resumen

La actividad humana en el entorno del río Ebro y la defensa frente a inundaciones ha causado un gran impacto en los ecosistemas fluviales, afectando intensamente a la dinámica del sistema durante el último siglo. El curso medio del Ebro ha sido muy estudiado, pero no su dinámica reciente, por lo que con el presente estudio se ha constatado la funcionalidad del sistema fluvial mediante la comparación evolutiva de las ortofotografías 1999-2003, 2009, 2015 y 2018, así como la utilización de las herramientas SIG que permiten evaluar y cuantificar los cambios y desplazamientos en determinados puntos de máximo interés geomorfológico como son las barras de meandro e islas donde se mantiene la dinámica de un cauce activo como el Ebro Medio. Los resultados obtenidos reflejan una dinámica escasa en un contexto de ralentización progresiva de la dinámica del cauce, pero en el que aún se registran cambios en estos puntos dinámicos, denotando un curso fluvial funcional que es capaz de movilizar sedimentos. Es de vital importancia la conservación y protección de esta dinámica hidrogeomorfológica evitando dañar el funcionamiento del ecosistema fluvial mediante acciones humanas directas.

Palabras Clave: barra de meandro, dinámica fluvial, río Ebro, ortofotografía, SIG.

Abstract

The human activity around the Ebro river and defense against floodings has caused a great impact on the river ecosystems, intensely affecting the dynamics of the system during the last century. The Middle Ebro has been extensively studied, but not its recent dynamics, so with the present study the function of the river system has been verified by comparing the evolution of the orthophotographs 1999-2003, 2009, 2015 and 2018, as well as the use of GIS tools that allow evaluating and quantify the changes and migration in certain points of maximum geomorphological interest such as meander bars and mid-channel bars where the dynamics of an active channel such as the Middle Ebro is maintained. The results obtained shown low dynamics in a context of progressive slowdown of the dynamics of the channel, but in which changes are still registered in these dynamic points, denoting a functional river that is capable of mobilizing sediments. The conservation and protection of this hydrogeomorphological dynamics is of vital importance, avoiding damaging the functioning of the river ecosystem through direct human actions.

Key Words: channel bars, river dynamics, Ebro river, orthophoto, GIS.

Índice

1. Introducción	4
1.1. Justificación y antecedentes	4
1.2. Área de estudio	5
1.2.1. Contexto general: el curso medio del Ebro	5
1.2.2. Área de trabajo: tramo Zaragoza-El Burgo de Ebro	8
1.3. Objetivos	10
2. Metodología	10
2.1. Selección de los puntos dinámicos y descarga de ortofotografías .	10
2.2. Elaboración de las cartografías diacrónicas	11
2.3. Cuantificación de los cambios en las barras de meandro	12
2.4. Factores hidrológicos	16
2.5. Características de las barras de meandro en campo	17
2.6. Factores antrópicos	18
3. Resultados	18
3.1. Estudio de mapas evolutivos	18
3.1.1. Cartografías diacrónicas	18
3.1.2. Mediciones de desplazamiento	44
3.2. Caracterización en campo	45
3.3. Análisis hidrológico	63
4. Interpretación, discusión y conclusiones	64
5. Bibliografía	67

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación y antecedentes

Los ríos son sistemas naturales dinámicos que se ajustan en el espacio y en el tiempo a los cambios ambientales y a múltiples factores geológicos, hidrológicos, ecológicos y antrópicos (Brierley y Fryirs, 2005). Por ello, los ríos son en sí mismos excelentes indicadores de todos los cambios y procesos de sus cuencas a diferentes escalas. Así, el estudio hidrogeomorfológico de la dinámica fluvial de ríos aluviales aporta una enorme información sobre la evolución del territorio desde diferentes perspectivas.

En el presente trabajo se ha elegido un río de grandes dimensiones a escala peninsular, el Ebro Medio, cuyo cauce ha contado en el pasado con una dinámica muy activa (Ollero, 1992), y que en las últimas décadas ha asistido a una reducción en su movilidad por diferentes causas, principalmente humanas. El trabajo se justifica por el interés de analizar esa pérdida progresiva de dinamismo, al que se une el interés por conservar, monitorizar y poner en valor los puntos que todavía son activos, en su mayor parte barras de meandro e islas, que conservan aún una destacable dinámica de procesos.

En efecto, aunque la dinámica fluvial del Ebro Medio es intensa y compleja, diferentes investigaciones (Ollero, 2010; Magdaleno, 2011; Magdaleno y Fernández, 2011; Díaz Redondo *et al.*, 2018; Noguera, 2018; Najes *et al.*, 2019; Horacio *et al.*, 2019; Ollero *et al.*, 2021) han concluido que su cauce activo ha experimentado una ralentización progresiva en su dinámica desde la segunda mitad del siglo XX y una contracción significativa de la banda fluvial como consecuencia del incremento de los usos antrópicos, tanto por la regulación de los caudales como por el levantamiento de defensas contra inundaciones. Este curso medio del Ebro mantiene cierto dinamismo hidromorfológico, aunque sensiblemente inferior al que tuvo hasta los años ochenta del siglo XX. Sin embargo, desde el punto de vista hidromorfológico, los múltiples y variados episodios de crecidas e inundaciones tienen un sentido positivo al reactivar y renovar el sistema fluvial (Sánchez *et al.*, 2015).

El curso medio del Ebro ha sido muy estudiado, pero es preciso seguir haciéndolo de forma continua, precisamente por esa supervivencia de enclaves dinámicos, objeto de estudio del presente trabajo, que nos informan de procesos y cambios y constituyen puntos de máximo interés geomorfológico por ese carácter relicto.

Durante los últimos ochenta años la concentración de la población y la actividad humana en el entorno del río Ebro ha ido en constante aumento debido a los avances técnicos y las mejoras de la maquinaria agrícola. Esto ha causado un gran impacto en la cuenca hidrográfica del Ebro y los ecosistemas fluviales afectando intensamente a la dinámica del sistema. Las alteraciones sufridas por el curso medio del río Ebro han sido analizadas en detalle en otras publicaciones (Camarasa y Mateu, 2000; Ollero 2006; Tarolli *et al.*, 2012; Terranova y Gariano, 2014).

La construcción de embalses y presas para la explotación del agua, así como de motas y escolleras para aumentar la seguridad de los núcleos urbanos y de los terrenos agrícolas que han crecido progresivamente hacia la llanura aluvial han producido una reducción drástica de la dinámica fluvial y la capacidad laminadora la llanura de inundación. Como consecuencia el cauce del Ebro se encaja cada vez más, incidiendo constantemente en el fondo del lecho fluvial, comenzando a provocar descensos en el nivel freático, desestabilización de infraestructuras e importantes daños en los ecosistemas acuáticos y ribereños. Durante los episodios de crecida extraordinarios el agua es incapaz de circular libremente por la llanura de inundación por lo que se desborda desde puntos concretos y produce mayores daños. Además, las motas impiden que el río retorne al cauce, aumentando la duración de la inundación. Sumado a esta situación contribuyen las infraestructuras de transporte que actúan como "barreras añadidas" para el flujo de agua. Con cada crecida reciente hay procesos erosivos en las márgenes del cauce, con las que el río trata de equilibrar la erosión lineal del fondo del lecho (Najes *et al.*, 2019; Horacio *et al.*, 2019).

Los impactos de las crecidas e inundaciones están extendidos por toda la cuenca del Ebro, aunque se concentran mayormente en los afluentes pirenaicos de la margen izquierda (García Ruiz *et al.* 1983 y 2001; Beguería *et al.*, 2003; López-Moreno *et al.*, 2006; Acín *et al.*, 2012; Marquínez *et al.*, 2014) y

el cauce medio del Ebro (Ollero, 1992; Ollero, 2000; Ollero *et al.*, 2004; Domenech *et al.*, 2009; Losada *et al.*, 2004; Bescós y Camarasa, 2004; Espejo *et al.* 2008). Existen numerosos trabajos sobre la dinámica geomorfológica de los meandros en el sector del Ebro Medio (Ollero, 2002; Ollero *et al.*, 2006; Najes *et al.*, 2019; Ollero, 1996; Ollero *et al.*, 2021; González, 2012), sobre los importantes eventos de crecida en los últimos siglos (Sánchez Fabre *et al.*, 2015; Ollero, 2011) y también sobre los depósitos de crecida en este tramo medio del Ebro (Balasch *et al.*, 2007).

Otras investigaciones se han enfocado en la transformación de los ríos trezados y divagantes en meandriformes y los problemas derivados de la incisión en el lecho, la actividad humana en los corredores ribereños y reducciones significativas de la movilidad del canal en las últimas décadas. En la literatura internacional, varios estudios recientes han tratado sobre el impacto de los embalses y de la regulación hidrológica en los sistemas fluviales (Petts y Gurnell, 2005; Magilligan y Nislow, 2005; Graf, 2006). Como principales referentes y antecedentes metodológicos para el presente estudio cabe destacar el estudio de Ollero *et al.* (2021) para la evolución hidrológica y los trabajos de Hey y Thorne (1986), Ollero (2010), Wickert *et al.* (2013), Morais *et al.* (2016), Wang y Xu (2018), Bertalan *et al.* (2019) y Duquesne (2021) para el análisis geomorfológico sobre imágenes aéreas y campo.

1.2. Área de estudio

1.2.1. Contexto general: el curso medio del Ebro

La cuenca hidrográfica del Ebro está situada en el cuadrante noroeste de la Península Ibérica, en las estribaciones meridionales de los Pirineos. Con una superficie total de 85534 km², una longitud de 970 km y un caudal medio anual en la desembocadura de 464 m³ · s⁻¹ ocupa un 17% del territorio peninsular español constituyendo la mayor cuenca hidrográfica de España y una de las principales cuencas hidrográficas mediterráneas de Europa. Está limitada al norte por la Cordillera Cantábrica y los Pirineos, al sureste por el Sistema Ibérico y al este por la Cordillera Costero-catalana. Rodeada por estas vastas elevaciones se enmarca una gran unidad geomorfológica deprimida, la Depresión del Ebro, cuya altura media es de 200 metros sobre el nivel del mar.

La formación de la cuenca hidrográfica del Ebro comenzó en el Paleógeno, hace aproximadamente 66 millones de años, durante la orogenia alpina que causó el acercamiento y subsiguiente colisión entre dos placas tectónicas: la euroasiática y la africana, provocando movimientos tectónicos intensos que dieron lugar a las principales cadenas montañosas del sur de Europa y Asia. En la Península Ibérica fue la responsable del levantamiento de las alineaciones montañosas de la Cordillera Cantábrica, los Pirineos, el Sistema Ibérico, los Sistemas Béticos, los Montes Vascos y la Cordillera Costero-Catalana. El contraste topográfico y litológico entre esas alineaciones, cuyas cumbres sirven de divisoria a la cuenca, y el amplio sector correspondiente a la Depresión del Ebro, constituye un elemento diferenciador de sectores dentro de la amplia cuenca. Diversos rasgos tanto del medio físico como de las actividades realizadas por el ser humano en la cuenca del Ebro inciden de forma muy directa en el comportamiento hidrológico de los ríos que la drenan. (Ollero *et al.*, 2004).

Está drenada principalmente por el río Ebro que, con 930 km de recorrido, es el segundo río más largo de la Península Ibérica tras el Tajo, y también ocupa la segunda posición tras el Duero, por su caudalosis. El río Ebro discurre en sentido noroeste-sureste, iniciando su recorrido en Cantabria y finalizando en Tarragona. Recibe agua de numerosos afluentes tanto por su margen izquierda, procedentes de la Cordillera Cantábrica y los Pirineos entre los que destacan: el Aragón, Gállego, Cinca-Segre; como por su margen derecha, procedentes del Sistema Ibérico como el Oja, Iregua, Jalón o Guadalope. Normalmente los que provienen de la margen izquierda pirenaica son los más largos y caudalosos ya que la cantidad de precipitaciones es mayor que en el Sistema Ibérico y, además, almacena nieve durante una gran parte del año.

Las precipitaciones registradas en la cuenca del Ebro se cifran en 600 mm anuales. En el sector noroeste, norte y las cumbres occidentales de la Península Ibérica recogen e incluso superan los 800-

1000 mm al año, debido a la influencia del Atlántico y las altitudes a las que se ubican. Por el contrario, en el extremo opuesto, difícilmente se registran 350 mm. El máximo es de otoño-invierno en la zona de influencia mediterránea, y de invierno-primavera, en la de influencia atlántica, coincidiendo de forma generalizada un marco descenso de precipitaciones en verano (Ollero *et al.*, 2004).

Este trabajo está contextualizado en el curso medio del Ebro, también conocido como Ebro Medio (Fig. 1), éste desarrolla desde la localidad de El Cortijo en Logroño hasta la presa de Alforque en el municipio de La Zaida (Zaragoza) un cauce muy dinámico de meandros libres en una extensa llanura de inundación con un recorrido total de 345 km por la Depresión del Ebro, atravesando a su paso territorios de La Rioja, País Vasco, Navarra y Aragón. La llanura de inundación en la que se describe este cauce de meandros libres tiene una anchura media de 3.23 km, llegando a alcanzar puntualmente un máximo de 6 km (Ollero, 1992). La compleja dinámica fluvial del Ebro Medio ha estado condicionada en gran medida en las últimas décadas por la antropización creciente del sistema fluvial de la cuenca del Ebro y la construcción de obras de defensa contra las crecidas e inundaciones que han provocado alteraciones en el trazado del cauce, disminuyendo la dinámica natural durante las últimas décadas.

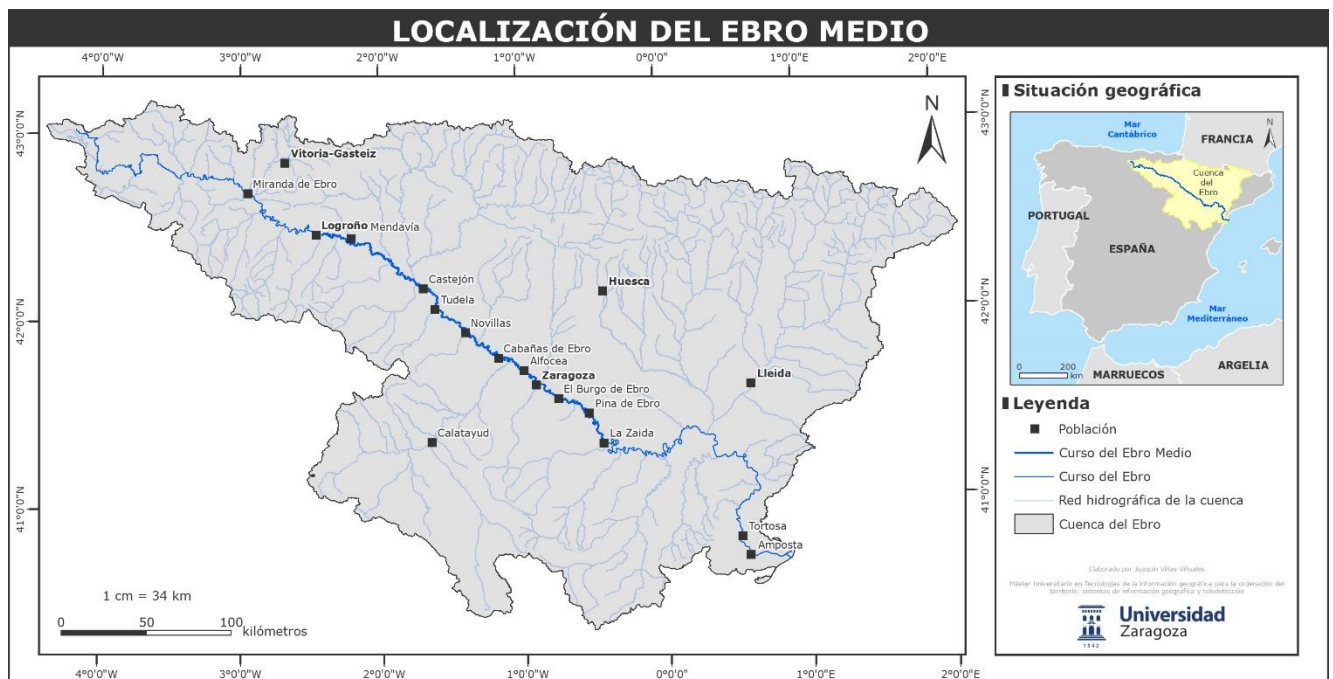


Figura 1. Mapa de localización del curso medio del Ebro, el Ebro Medio, en el contexto del curso del río en su recorrido por la cuenca hidrográfica del río homónimo. Se incluye el tramo de estudio del trabajo que comprende desde Zaragoza hasta El Burgo de Ebro. Elaboración propia.

A su paso por Aragón, el Ebro Medio presenta dos grandes tramos muy bien diferenciados por sus caracteres hidromorfológicos: un curso de meandros libres o divagantes hasta el azud de Alforque y, a partir de ese punto, un tramo de meandros encajados. El curso de meandros libres, donde se localiza el área de estudio, tiene un recorrido de 177 km y una pendiente media de 0.53 m/km donde se producen importantes desbordamientos e inundaciones por la falta de encajamiento del cauce (Ollero *et al.*, 2004).

Dado que la corriente discurre sobre un valle amplio de pendiente muy baja, en este sector el cauce no puede profundizar en el lecho por lo que invierte su energía en el transporte y la erosión lateral. El resultado es el desarrollo de un cauce meandriforme caracterizado por numerosas rupturas en las familias de meandros (Ollero, 2002). Estos meandros se originan en los tramos del río donde la pendiente es poco acusada provocando que el cauce discurra sobre los sedimentos de la llanura aluvial. Estas superficies fácilmente erosionables por el agua provocan la evolución y desplazamiento lateral de los meandros sobre el fondo del valle. El perfil del canal de un meandro es asimétrico. En la orilla convexa el agua pierde velocidad y deposita sus sedimentos formando una barra de meandro o *point-bar*; mientras que, en la orilla cóncava, la acción erosiva del agua origina que el cauce sea más profundo y la orilla sea

cada vez más escarpada. La erosión constante sobre la orilla es la responsable del desplazamiento del meandro en la llanura aluvial.

El régimen hidrológico del Ebro Medio es pluvio-nival con un máximo en febrero, mínimo en agosto, prolongándose las aguas altas en primavera y las bajas en otoño (Ollero *et al.*, 2004). Las precipitaciones del Atlántico afectan a la cabecera del Ebro y las importantes descargas invernales del Pirineo occidental resultan en una mayor frecuencia de inundaciones. La influencia pluvial oceánica produce los notables caudales invernales, además de la mayor frecuencia de crecidas en dicha estación.

El actual cauce meandriforme, los meandros temporalmente abandonados y los diversos sectores de la llanura aluvial se ven cubiertos por las aguas durante estos episodios de crecida, principalmente cuando adquieren un carácter extraordinario (Sánchez *et al.*, 2015). Es por esto que el principal riesgo natural del Ebro Medio son las crecidas, este riesgo se acrecienta en los sectores donde la falta de encajamiento del cauce provoca el fácil desbordamiento con la consecuente ocupación temporal por el río de la llanura de inundación, en la que se asientan cultivos, infraestructuras y núcleos de población. Estas crecidas presentan una alta frecuencia, de manera que aproximadamente una vez al año el río se desborda en amplios tramos. Proceden de todos los sectores altos de la cuenca, destacando por su volumen las de origen pirenaico, aportadas por Aragón, Gállego o Segre, y las que derivan de largos procesos lluviosos en el Alto Ebro (Ollero, 2002).

Entre las crecidas extraordinarias históricas registradas que han producido el desbordamiento del curso medio del Ebro en los dos últimos siglos hay que destacar la de febrero de 1952, diciembre de 1959, enero de 1961, noviembre de 1966, febrero de 1978, diciembre de 1980, enero de 1981 y febrero de 2003 (Ollero *et al.*, 2004). La crecida de marzo-abril de 2007 (Espejo *et al.*, 2008) estuvo muy cerca del umbral de crecida extraordinaria y se consideran extraordinarias la de febrero-marzo de 2015 (Sánchez *et al.*, 2015) y la de abril de 2018.

Respecto a las riberas naturales del Ebro Medio, constituyen un valioso pasillo verde en el centro de la árida Depresión del Ebro, agrupando diversos ecosistemas terrestres y acuáticos. La extensión actual de las formaciones de ribera no es tanto resultado de la dinámica del cauce como de los intereses humanos, de manera que perviven los sotos allí donde es imposible cultivar o interesa por algún motivo su conservación.

Los sotos constituyen masas boscosas de elevada complejidad estructural, con un mosaico de comunidades que incluyen desde las pioneras hasta las más desarrolladas como las choperas y alamedas, principalmente, pasando por saucedas de orla y tamarizales. La mayoría de los sotos actuales en el Ebro Medio son muy jóvenes, desarrollándose sobre terrenos renovados por el río en las crecidas de la primera mitad del siglo. La estructura y el desarrollo superficial está condicionada por la inundabilidad. Se ha observado que las formaciones arbóreas se desarrollan preferentemente en terrenos inundados por periodos de retorno de entre 2 y 5 años, mientras en las orillas del cauce con inundación anual no suele pasarse de formaciones pioneras (Ollero, 2002).

Las márgenes cóncavas y convexas presentan diferencias significativas en el desarrollo de sus cubiertas vegetales. Las márgenes cóncavas son cultivadas y defendidas de la erosión al estar constituidas por depósitos finos que son más fértiles para el cultivo. Las orillas convexas albergan los sotos donde la mayor variedad de sedimentación posibilita la diferenciación y crecimiento de comunidades vegetales sobre complicadas microtopografías. Por otra parte, las orillas cóncavas normalmente son demasiado altas para que se instale la vegetación freatofítica. Los sotos instalados en ellas corresponden en todos los casos a antiguas islas del cauce. El soto se inicia en la margen convexa, sufre una corta de canal de crecida y acaba uniéndose a la opuesta tras contribuir a colmatar el brazo secundario, pero se mantiene topográficamente más abajo que la antigua orilla (Ollero, 1992).

Las herramientas SIG y la utilización de la fotografía aérea ha constituido la base para la elaboración de cartografía y la información geográfica en general, ocupación del suelo, urbanismo y ordenación del territorio, etc. Por tanto, la utilización de las ortofotografías ha tenido un papel fundamental en el desarrollo de este trabajo. La información que ofrecen estas instantáneas ha sido

indispensable a la hora de interpretar y analizar procesos de cambio en las barras de meandro e islas que se han seleccionado por constituir puntos de interés dinámico a lo largo del tramo del río Ebro estudiado. Además, se han llevado a cabo una campaña de trabajo de campo en el área de estudio para identificar y cuantificar diversas mediciones con el fin de evaluar la dinámica general.

1.2.2. Área de trabajo: tramo Zaragoza-El Burgo de Ebro

El área de estudio se localiza en el contexto del Ebro Medio, concretamente se sitúa en los primeros kilómetros fluviales aguas abajo de Zaragoza, entre el azud del Ebro en la capital aragonesa y la urbanización de Virgen de la Columna en la localidad de El Burgo de Ebro (Fig. 2). El tramo analizado se extiende un total de 14 kilómetros hacia el sureste. En este tramo se han reconocido, seleccionado y analizado un total de trece puntos dinámicos (Tabla 1).



Figura 2. Mapa de localización del área de estudio en la que se observa el tramo estudiado de 14 kilómetros que comprende desde Zaragoza hasta la localidad de El Burgo de Ebro, así como la ubicación y distribución de los trece puntos dinámicos estudiados. Elaboración propia.

Tabla 1. Denominación de los trece puntos dinámicos estudiados.

Punto dinámico	Denominación
1	Islas al pie del azud del río Ebro
2	Confluencia del río Gállego e isla asociada a la desembocadura
3	Isla bajo la autovía Z-40
4	Barra de meandro de La Cartuja Baja
5	Entrada de sedimentos de la crecida de abril de 2018
6	Barra de meandro de la depuradora de La Cartuja Baja
7	Orilla erosiva y entrada de sedimentos al sur de Pastriz
8	Isla y orilla erosiva del Soto del Francés
9	Barra de inicio de meandro de los galachos de La Alfranca
10	Islas del Rincón Falso
11	Barra de meandro de El Burgo de Ebro
12	Islas del Soto de Quinto
13	Barras-islas laterales en la urbanización Virgen de la Columna

En el tramo analizado destaca la abundancia de material sedimentario en movilidad, gravas, arenas y limos, que han construido un gran número de barras de meandro. Estos materiales proceden del importante caudal sólido aportado por los afluentes del río Ebro y de la erosión activa de las márgenes

del propio río. Sin embargo, la multiplicación de embalses y presas acompañada de la reducción de la dinámica natural del cauce han limitado notablemente en las últimas décadas la carga sólida del río. Al mismo tiempo, el menor número de crecidas formativas (por retención de caudales con capacidad de movilización en los embalses) ha supuesto una limitación en la capacidad de arrastre de la corriente y ha contribuido a facilitar la colonización vegetal con la consiguiente retención de las barras de meandro preexistentes. Todo ello ha derivado en una notable disminución en número, superficie y dinamismo de las barras de grava migrantes del cauce (Ollero, 1993; Najes *et al.*, 2019).

La presencia de islas en el tramo de estudio es muy importante desde el punto de vista ecológico ya que en ellas se asientan los ecosistemas menos alterados, debido a la dificultad de acceso. Las islas son barras de meandro que se han formado en el centro del cauce o bien han sido desgajadas de las márgenes, a raíz de la abundancia de carga sólida y de la alta frecuencia de crecidas. Su distribución espacial es bastante anárquica, pudiendo aparecer en vértices de meandro, puntos de inflexión o fragmentos rectos, ya que su establecimiento depende de factores locales de flujo.

La llanura de inundación en el tramo de estudio es muy ancha, alcanzando los máximos en todo el curso del Ebro, con casi 6 km. La frecuencia y calado de las inundaciones son importantes con pequeños periodos de retorno. Por último, otra característica relevante del área de estudio es que en buena parte se integra en un espacio protegido, la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro.

La Zona A de la Reserva tiene una superficie de 800 hectáreas, se encuentra a unos 12 kilómetros aguas abajo de la ciudad de Zaragoza y comprende terrenos en las dos márgenes del río Ebro, meandros abandonados, llamados galachos y gran cantidad de sotos (Fig. 3). Su declaración como Reserva Natural en 1991 y su reclasificación como Espacio Natural Protegido en 1998 tiene como objetivo conservar y proteger sus ecosistemas y hábitats singulares, comunidades y elementos biológicos. Su gestión está dirigida a la preservación y restauración de dos de los ecosistemas con más riesgo de desaparición en Aragón, como son las zonas húmedas y los típicos sotos o bosques ribereños. En 2011 la figura de protección fue ampliada con un segundo tramo desconectado que comprende los términos municipales de Alfajarín, El Burgo de Ebro, Fuentes de Ebro, Nuez de Ebro, Osera, Pastriz, La Puebla de Alfindén y Zaragoza.



Figura 3. Mapa de localización la Zona A de la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro en el contexto del Ebro Medio. Elaboración propia.

1.3. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es constatar la actual funcionalidad del sistema fluvial del Ebro medio a partir del análisis de la dinámica hidrobiogeomorfológica en barras de meandro e islas. Así, la hipótesis de partida establece que, aunque las orillas del Ebro no pueden desplazarse y su dinámica es muy escasa, en un contexto de ralentización progresiva de la dinámica del cauce constatado en estudios anteriores (Najes *et al.*, 2019), sí se registran cambios en barras, lo que denota un curso fluvial funcional que moviliza sedimentos y cuenta con procesos hidrobiogeomorfológicos activos.

En concreto, los objetivos específicos de este trabajo son:

1. Analizar y dimensionar la dinámica de las barras de meandro e islas en un tramo representativo del curso medio del Ebro en los últimos veinte años.
2. Representar la evolución mediante cartografías diacrónicas de detalle de cada uno de los puntos dinámicos en cada ortofotografía, constituyendo una base de información para futuros seguimientos.
3. Determinar y valorar el estado actual de los puntos dinámicos más accesibles identificando la dinámica natural y los efectos de acciones antrópicas.

2. METODOLOGÍA

2.1. Selección de los puntos dinámicos y descarga de ortofotografías

Para este trabajo se ha decidido escoger un periodo que comprenda los últimos veinte años. La selección de puntos dinámicos se ha realizado con una observación previa de visores cartográficos para ese periodo de las dos primeras décadas del siglo XXI. Para ello se ha tenido que acceder a las ortofotografías aéreas digitales disponibles actuales e históricas del proyecto PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea), coordinado por el IGN (Instituto Geográfico Nacional) y el CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica). En la página web del Centro de Descargas del CNIG se ha revisado el amplio catálogo de ortofotografías y se han recopilado aquellas en las que los cambios en el cauce del río, las barras de meandro y las márgenes mostraban cambios importantes atendiendo a criterios de variabilidad espacial, distribución temporal y calidad y resolución del archivo de imagen. La búsqueda de los mosaicos de ortofotografías que se ajustaran mejor a estos requisitos se ha centrado en los mosaicos más recientes disponibles del PNOA, los mosaicos desde el año 2004 y los mosaicos del vuelo SIGPAC (Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas). Los mosaicos de ortofotografías que se han ajustado mejor a estos requisitos. Todas estas ortofotografías tienen el mismo sistema de referencia geodésico: ETRS89; y la proyección UTM en su huso correspondiente.

Finalmente se ha optado por descargar y utilizar ocho ortofotografías de dos hojas contiguas: la hoja 383 de Zaragoza y la hoja 384 de Fuentes de Ebro. Esto se debe a que el punto dinámico 1 está incluido a la hoja 383 situándose en el límite sureste, mientras que, el resto de puntos dinámicos se incluyen en la hoja 384. La serie de ortofotografías (Tabla 2 y 3) utilizadas muestran los cambios que experimentan los puntos dinámicos a lo largo de las últimas dos décadas, entre 1999 y 2018 permitiendo realizar un estudio detallado de su evolución. Los periodos analizados comprenden desde 1999-2003

- La ortofotografía SIGPAC (1999-2003) permite observar los cambios producidos desde principios de siglo.
- La ortofotografía PNOA 2009 señala un momento clave en la geomorfología del río Ebro puesto que manifiesta los efectos tras la crecida de ese mismo año y los cambios como consecuencia de la finalización de las obras de la Exposición Internacional de Zaragoza de 2008.
- La ortofotografía PNOA 2015 y 2018 reflejan la evolución asociada a las crecidas de esos mismos años (marzo-abril para la crecida de 2015 y abril para la de 2018) pues la fecha de captura de las ortofotografías es inmediatamente posterior a estos eventos.

De esta manera el periodo estudiado que comprende veinte años se divide en tres: el primero comprende unos seis años aproximadamente, desde 1999-2003 hasta 2009; el segundo comprende otros seis años desde 2009 hasta 2015 y el tercero la mitad de tiempo, tres años, hasta 2018.

Tabla 2. Ortofotografías utilizadas de la hoja 383 (Zaragoza): año de captura, escala y resolución.

Archivo	Año de captura	Escala	Resolución
PNOA-H-SIGPAC-OF-ETRS89-HU30-H50-0383	1999 - 2003	1:40000	Píxel entre 0.25 y 1 m
PNOA-ANUAL-2009-OF-ETRS89-HU30-H50-0383	2009	1:50000	Pixel de 50 cm
PNOA-ANUAL-2015-OF-ETRS89-HU30-H50-0383	2015	1:50000	Pixel de 50 cm
PNOA-ANUAL-2018-OF-ETRS89-HU30-H50-0383	2018	1:50000	Pixel de 50 cm

Tabla 3. Ortofotografías utilizadas de la hoja 384 (Fuentes de Ebro): año de captura, escala y resolución.

Archivo	Año de captura	Escala	Resolución
PNOA-H-SIGPAC-OF-ETRS89-HU30-H50-0384	1999 - 2003	1:40000	Píxel entre 0.25 y 1 m
PNOA-ANUAL-2009-OF-ETRS89-HU30-H50-0384	2009	1:50000	Pixel de 50 cm
PNOA-ANUAL-2015-OF-ETRS89-HU30-H50-0384	2015	1:50000	Pixel de 50 cm
PNOA-ANUAL-2018-OF-ETRS89-HU30-H50-0384	2018	1:50000	Pixel de 50 cm

2.2.Elaboración de las cartografías diacrónicas

El software ArcMap en su versión 10.7.1 se ha utilizado para digitalizar detalladamente, sobre cada una de las ortofotografías descargadas, diferentes elementos y cuantificar los cambios que se producen a lo largo de los tres periodos estudiados (1999-2003 a 2009, 2009 a 2015 y 2015 a 2018) permitiendo analizar la evolución de los trece puntos dinámicos. El primer paso ha sido crear una *Personal File Geodatabase* que permite almacenar toda la información digitalizada georreferenciada. La *Personal File Geodatabase* contiene los *Feature Datasets* que se han creado para cada uno de los puntos dinámicos, estos *Feature Datasets* tienen asignado el sistema de coordenadas ETRS 1989 UTM Zone 30N, importado de las ortofotografías. Los *Feature Class* son de tipo *Polygon* y están incluidos en su *Feature Dataset* correspondiente representando cada uno de los elementos. Para la digitalización de diferentes elementos se han utilizado las herramientas para su digitalización se han utilizado las herramientas de edición *Straight Segment*, *End Point Arc Segment* y *Trace*. Estos elementos se han clasificado atendiendo a diez categorías que se detallan a continuación:

Las categorías "Barra con vegetación abundante", "Barra con escasa vegetación" y "Barra sin vegetación" corresponden a la superficie de cada barra de meandro o isla, es decir, a sus límites físicos exactos en el momento de la captura de la ortofotografía. Su clasificación atiende a criterios del porcentaje de cubierta vegetal de cada una de las barras respecto a su superficie total. Si la cubierta vegetal es igual o menor a 5% de la superficie total la barra se denomina "sin vegetación", si es mayor que 5% y menor o igual a 75% se denomina "con escasa vegetación" y si es mayor que 75% se denomina "con vegetación abundante". Para calcular estos porcentajes se ha creado un nuevo campo de tipo *Float* utilizando la opción *Add Field* en las tablas de atributos de los *Feature Class*, este campo se ha necesitado para calcular el área y se ha expresado en metros cuadrados. Utilizando la opción *Statistics* sobre el campo de área se ha calculado el valor de la superficie total para las barras y de la superficie de la vegetación madura y pionera para, a continuación, con el software Microsoft Excel calcular los porcentajes y establecer las categorías correspondientes en función de la cubierta vegetal

Respecto a la superficie total que ocupan las barras de meandro en cada ortofotografía se ha encontrado un problema metodológico. Aunque las ortofotografías fueron capturadas en la estación de verano se desconoce la fecha exacta en la que se capturaron por lo que no es posible asignar el nivel al que se encontraba la lámina de agua en ese momento. Debido a esto se ha creado una categoría denominada "barra sumergida" ya que ha sido imposible determinar con exactitud si este fenómeno se debe a un exceso en el nivel del caudal, que influiría directamente en cantidad de sedimento que se observa emergido, o se debe a una serie de cambios geomorfológicos entre los periodos estudiados.

La cubierta vegetal se divide en dos categorías: la categoría "vegetación madura" corresponde a la vegetación que coloniza la superficie de la barra de meandro desde la primera ortofotografía utilizada, es decir, la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) y que puede crecer o decrecer a lo largo de los tres periodos estudiados. Por otra parte, la categoría "vegetación pionera" corresponde a toda la demás, aquella que prolifera en aquellos lugares de la barra de meandro donde nunca había existido vegetación.

Las categorías de "Zona de depósito" y "Zona de erosión" indican aquellos sectores de la barra de meandro en los han tenido lugar procesos de sedimentación en los que se ha depositado material o, por el contrario, procesos de erosión en los que se ha retirado material. La digitalización de estas áreas se ha llevado utilizando la herramienta *Trace* y a cabo teniendo en cuenta los límites de la barra de meandro para la ortofotografía anterior, de manera que exista una zona de depósito y erosión para cada periodo. En estas categorías también aparece el problema metodológico planteado para la categoría "Barra sumergida", es decir, se desconoce en qué medida ha afectado el nivel de caudal con el que se capturó la ortofotografía a la cantidad de depósito o erosión observada.

La categoría "Lámina de agua" indica pequeños cuerpos de agua superficial que se han formado de manera natural y permanecen en la superficie de la barra de meandro aislados del cauce del río Ebro y la corriente principal. Por último, la categoría "Sedimentos de la crecida de 2018" se ha digitalizado únicamente en los puntos dinámicos 5 y 7 en los que se produjo la entrada de sedimentos como consecuencia de la crecida de ese mismo año.

Finalizado el proceso de digitalización y categorización de los trece puntos dinámicos se ha configurado, desde la vista *Layout*, la representación de las cartografías diacrónicas. El objetivo principal de estas cartografías ha sido mostrar de manera eficiente, concisa y rápida la evolución a lo largo de los tres periodos estudiados de los puntos dinámicos. Para ello se ha optado por una distribución horizontal de los elementos en los que las cuatro ortofotografías se sitúan en el sector izquierdo ordenadas de izquierda a derecha y de arriba a abajo. Como la escala y orientación es común para las cuatro ortofotografías se han extraído fuera de las imágenes de satélite al sector derecho junto con el mapa auxiliar, la leyenda y otra información relevante para mejorar la visualización de las mismas y evitar así sobrecargarlas de información. Además, se ha configurado y añadido una retícula de referencia que indica los paralelos de latitud y meridianos de longitud de la Tierra para ubicar de forma precisa cada punto dinámico en cuestión.

2.3. Cuantificación de los cambios en las barras de meandro

Los cambios experimentados en los puntos dinámicos se han cuantificado utilizando el software ArcMap 10.7.1 a partir de la medición de los siguientes parámetros en las barras de meandro e islas: superficie total, longitud máxima, anchura máxima, desplazamiento, distancia de separación a las márgenes del río y desplazamiento del centroide.

La superficie total se ha calculado mediante la metodología aplicada para el cálculo de porcentaje de cobertura vegetal en las barras de meandro, es decir, se ha creado un nuevo campo de tipo *Float* utilizando la opción *Add Field* en los *Feature Class* clasificados como "Barra sin vegetación", "Barra con escasa vegetación" y "Barra con vegetación abundante". Las tablas de atributos con el valor del área calculado se han exportado utilizando la opción *Export* en formato *.csv*. Con el software Microsoft Excel se han sumado, recogido en tablas y representado en histogramas para cada uno de los puntos dinámicos.

La longitud máxima y anchura máxima se han calculado utilizando la herramienta *Measure* que permite medir la distancia del eje longitudinal (longitud máxima) y del eje transversal (anchura máxima), para ello se ha atendido a criterios de perpendicularidad y límites del cauce del río Ebro en cada uno de los puntos dinámicos en su año correspondiente. En la Figura 4 y Figura 5 se detalla el procedimiento empleado para medir ambos parámetros en función de si el punto dinámico está constituido por una barra de meandro o una isla.

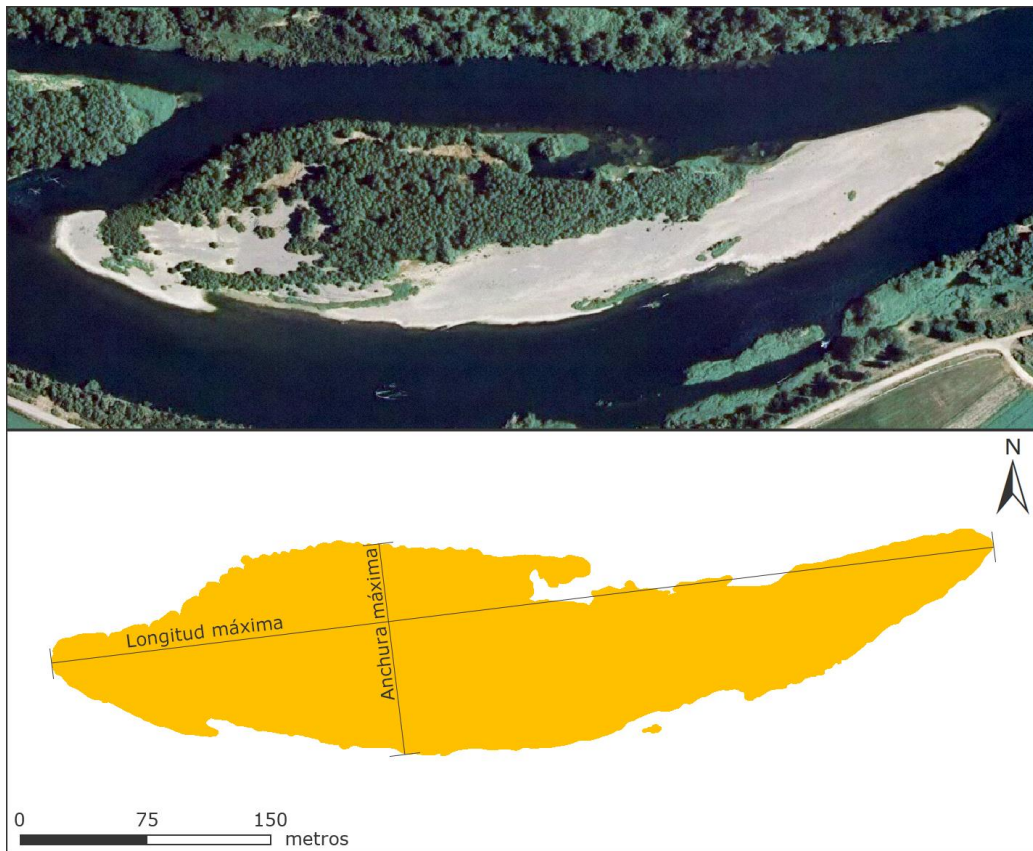


Figura 4. Procedimiento utilizado para la medición de la longitud y anchura máximas en una isla. El ejemplo representado corresponde a la isla del punto dinámico 12.



Figura 5. Procedimiento utilizado para la medición de la longitud y anchura máximas en una barra de meandro. El ejemplo representado corresponde a la barra de meandro del punto dinámico 11.

El desplazamiento experimentado en cada punto dinámico se ha calculado utilizando la herramienta *Measure* respecto al periodo anterior, en cada uno se ha establecido como referencia de cambio el extremo digitalizado aguas abajo. Si el punto dinámico experimenta un avance global hacia aguas abajo el valor de desplazamiento será positivo, en cambio, si experimenta un retroceso global hacia aguas arriba el valor de desplazamiento será negativo. En la Figura 6 se detalla el procedimiento empleado para medir el desplazamiento para cada periodo respecto al estadio anterior.

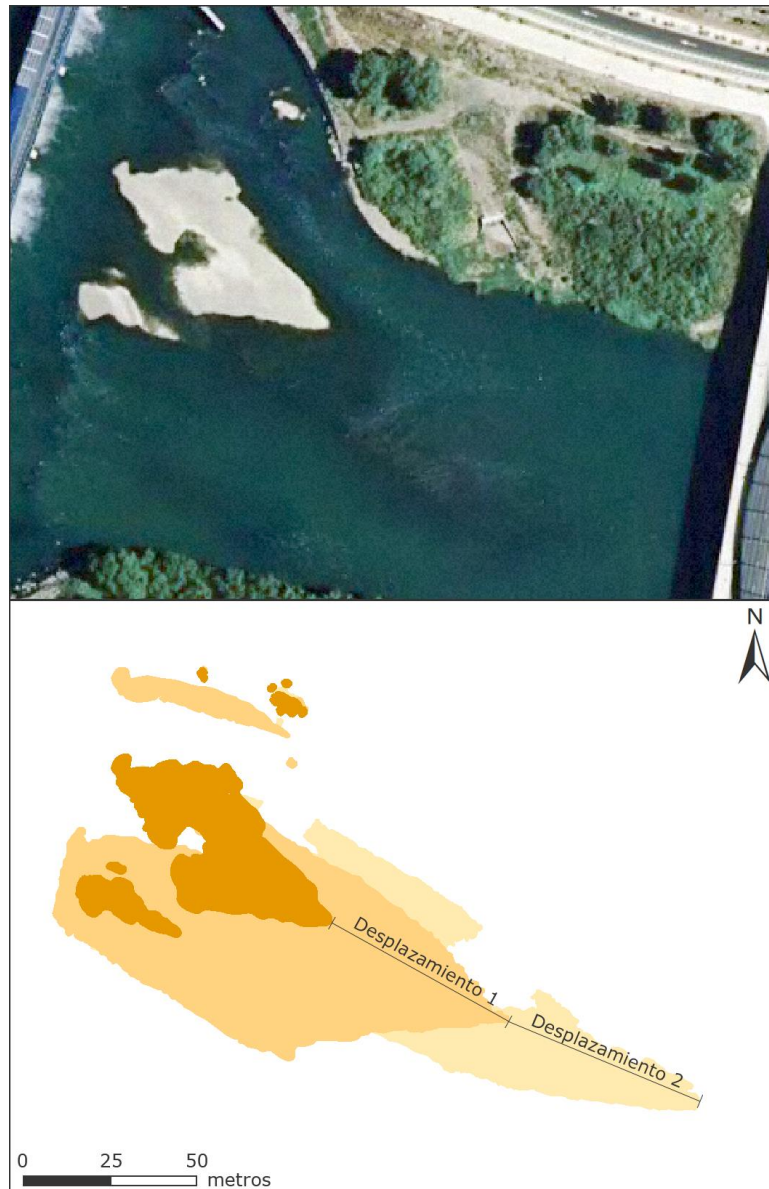


Figura 6. Procedimiento utilizado para la medición del desplazamiento en un punto dinámico. El ejemplo representado corresponde al grupo de islas del punto dinámico 1. En color naranja intenso se observa la superficie del punto dinámico 1 en la ortofotografía PNOA 2009, el color naranja suave indica la superficie en la ortofotografía PNOA 2015 y en color naranja blanquecino la superficie en la ortofotografía PNOA 2018. El desplazamiento 1 se mide entre el periodo 2009-2015 y el desplazamiento 2 entre el periodo 2015-2018.

En las islas principales de los puntos dinámicos se han medido dos índices geomorfométricos: la distancia de separación respecto a las márgenes del río Ebro para cada ortofotografía y el desplazamiento del centroide para cada periodo. Ambos índices se han calculado con el software ArcMap 10.7.1. Para el primer índice se ha utilizado la herramienta *Measure* y, el segundo índice, utilizando la herramienta *Feature to Points* que permite calcular el punto central de cada uno de los polígonos de las islas, denominado centroide. El desplazamiento del centroide se ha calculado mediante la metodología aplicada para la medición del desplazamiento de los puntos dinámicos para cada periodo (Fig. 7).



Figura 7. Procedimiento utilizado para la medición del desplazamiento del centroide de una isla. El ejemplo representado corresponde a la isla noroeste del punto dinámico 8. En color naranja intenso se observan los límites de la isla en la ortofotografía SIGPAC (1999-2003), el color naranja suave indica el límite en la ortofotografía PNOA 2009. El desplazamiento se mide entre cada uno de los tres periodos.

De esta manera se ha podido analizar detalladamente la variación de los parámetros (superficie total, longitud máxima, anchura máxima, desplazamiento y, en algunos casos, el movimiento del centroide de las islas y la distancia a las márgenes del río Ebro) de cada punto dinámico durante cada uno de los tres periodos estudiados.

2.4. Factores hidrológicos

Con el fin de abordar el problema metodológico planteado para la clasificación de las categorías "Barra sumergida", "Zona de depósito" y "Zona de erosión" en el capítulo 2.2 "Elaboración de las cartografías diacrónicas" se van a emplear dos parámetros: el umbral de desbordamiento (o nivel *bankfull*) y el umbral de movilización de sedimento.

El umbral de desbordamiento es un parámetro difícil de identificar y calcular en un cauce de las dimensiones y complejidad del río Ebro Medio. En la investigación correspondiente a la tesis doctoral de Ollero (1992) se estableció un umbral de desbordamiento de $1600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en la estación de aforo de Zaragoza (ID 9011). Este valor se puede utilizar para la serie antigua (1950-1996), pero ya no es válido para la actual (desde 1996 hasta la actualidad). Nuevas observaciones de campo en inundaciones recientes y entrevistas con técnicos personal de la CHE (Confederación Hidrográfica del Ebro), así como un informe de investigación inédito (Martín Vide, coord., 2018), establecen que este caudal (serie 1996-2019) debe ubicarse ahora en $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en Zaragoza (Ollero *et al*, 2021).

El umbral de movilización de sedimento indica a partir de qué nivel de caudal se produce el flujo de los granos de sedimento que se asientan sobre el lecho fluvial. Este nivel se situó en $400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Martín Vide, coord., 2018) para toda la serie 1950-2019 en base a las condiciones de pendiente, sección transversal y tamaño medio del sedimento.

Con el objetivo de verificar si los cambios experimentados en la superficie emergida de las barras de meandro e islas están asociados a los diferentes episodios de crecida durante el periodo estudiado se ha procedido a realizar un tratamiento estadístico de los datos de caudal diario. Por tanto, a través de la página web del SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica) del Ebro se han descargado los datos diarios de caudal para la estación de aforo de Zaragoza (ID 9011) desde el 1 de enero de 2009 hasta la actualidad en formato EXCEL.

El periodo estudiado comprende hasta el verano de 2018 (Fig. 8) por lo que se ha establecido como fecha central del año el día 1 de julio, de esta manera, los periodos anuales comprenden desde esa fecha hasta el 30 de junio del año siguiente. Como las ortofotografías fueron capturadas en la estación de verano (probablemente a lo largo del mes de julio) no hay registros de crecidas, inundaciones o de cambios notables en el caudal. Se ha calculado el caudal medio de cada periodo anual a partir del caudal medio diario (Fig. 8), el número de días en los cuales se supera el umbral de desbordamiento ($> 1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) y de movilización de sedimento ($> 400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

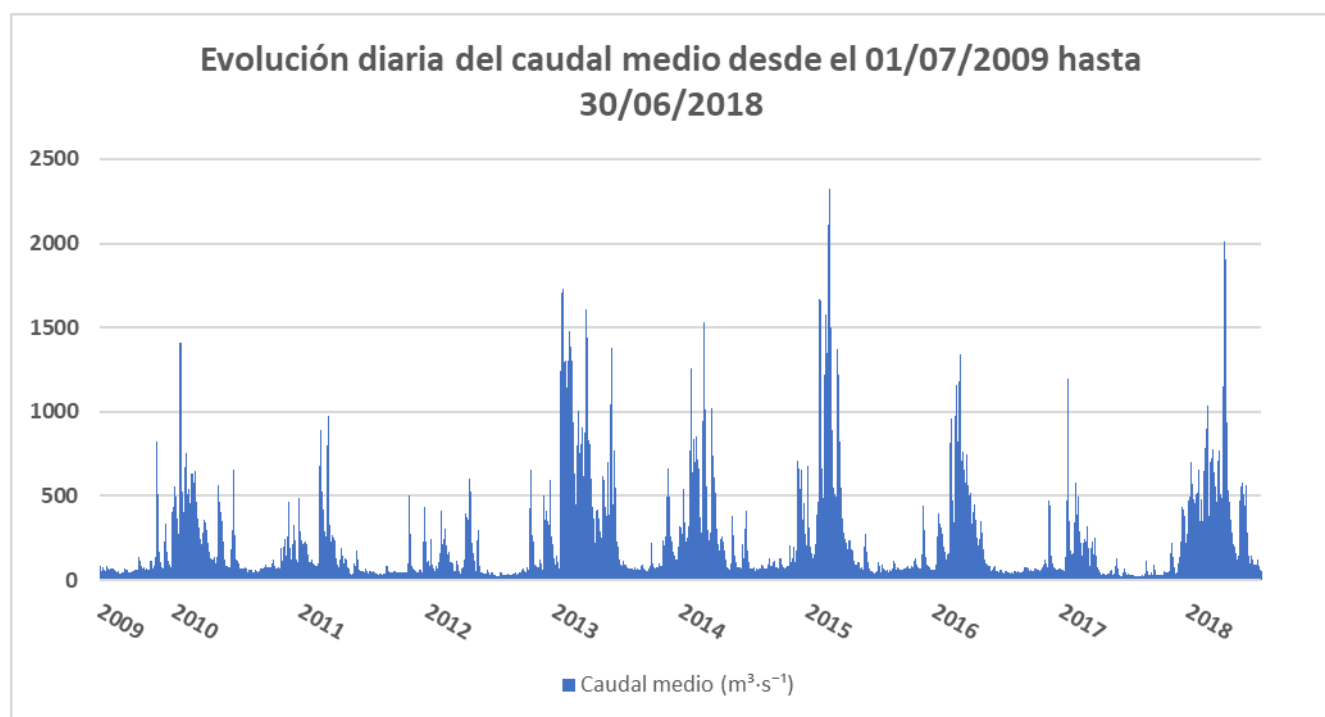


Figura 8. Histograma de la evolución diaria del caudal medio en la estación de aforo de Zaragoza (ID 9011) desde el 01/07/2009 hasta el 30/06/2018.

2.5. Características de las barras de meandro en campo

Se ha realizado trabajo de campo en los puntos dinámicos más accesibles: 2, 4, 6, 7 y 11; con el objetivo de realizar una serie de mediciones con la ayuda de un metro, una regla de carpintero graduada, una cámara fotográfica, un cuaderno y la aplicación OruxMaps para registrar las coordenadas exactas de los puntos de medición. Las mediciones que se han realizado a simple vista son:

- Grado de movilidad del sedimento no cohesivo que indica la facilidad de los clastos sueltos de las gravas en la superficie de las barras de meandro para ser movidos con el pie.
- Imbricación, que indica la orientación y apoyo de los clastos siguiendo una posible dirección orientada de manera que sus ejes mayores se colocan aproximadamente paralelos y formando un determinado ángulo con la horizontal que apunta en la dirección de la corriente.
- Presencia de madera muerta o sedimento leñoso y otros restos de episodios de crecida.

- Evidencia de acciones antrópicas ejecutadas *in situ*.

Las mediciones que se han realizado utilizando instrumentos de medición son:

- Granulometría sencilla en la que se coloca la regla de carpintero en el suelo y se extiende hasta alcanzar un tamaño de 40x40 cm. En su interior se realizan diez medidas aleatorias del eje transversal de los clastos. En función de la accesibilidad, heterogeneidad y morfología de la barra de meandro se obtienen entre treinta y cincuenta medidas.
- Grado de acorazamiento de la capa subsuperficial que queda expuesta al retirar los clastos de la capa superficial tras finalizar la medición anterior.
- Medición del centilo que corresponde al mayor eje transversal encontrado.

La aplicación OruxMaps permite generar, almacenar y procesar puntos y rutas en formato .gpx y .kml. En cada uno de los puntos dinámicos, con la ayuda de esta aplicación, se ha creado un *Waypoint* con la opción *Crear Waypoint* en el lugar exacto en el que se han realizado las mediciones. Una vez finalizado el proceso de medición en el punto dinámico y con todos los *Waypoints* creados se exportan en formato .kml, legible por el software ArcMap 10.7.1. Estos *Waypoints* se importan correctamente en ArcMap y, con ellos, se elaboran mapas sencillos de localización.

Además, se ha complementado el trabajo de campo con la toma de fotografías *in situ* del aspecto actual de las barras de meandro visitadas, de la presencia de restos de crecida y de los acorazamientos en cada punto de medición.

2.6. Factores antrópicos

La Confederación Hidrográfica del Ebro está ejecutando desde el año 2018 planes de actuación sobre algunos de los puntos dinámicos estudiados, en algunos casos en el marco del proyecto Ebro Resilience, en otros en el contexto de las tareas de "gestión y mantenimiento" de cauces. Los objetivos de estas actuaciones incluyen la eliminación y desbroce de algunas barras de meandro e islas, como por ejemplo la isla de la autovía Z-40 (en el verano de 2020) o la de la desembocadura del río Gállego (en agosto de 2021). En el verano de 2021 también se han aplicado técnicas de *curage* o apertura de pasillos labrados con utilización de maquinaria pesada en la barra de meandro de la Cartuja Baja. Se han tomado fotografías de los resultados de estas acciones.

3. RESULTADOS

3.1. Estudio de mapas evolutivos

3.1.1. Cartografías diacrónicas

El **punto dinámico 1** (Fig. 9) está constituido por las islas que se forman a los pies del azud del Ebro, es el único de los trece puntos dinámicos en el que no se observa ninguna barra de meandro o isla en la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) porque que el cauce del río Ebro y su dinámica no se vieron afectadas en este punto hasta la construcción del azud del Ebro en 2008. Este punto está caracterizado por experimentar un crecimiento drástico a lo largo del periodo estudiado en el que la superficie total aumenta 6063.79 m² (+350%) y la longitud máxima 113.08 m (+144.93%) aunque la anchura máxima disminuye 29.41 m (-34.41%). En la ortofotografía PNOA 2009, un año después de la finalización de las obras de la EXPO 2008, se identifica un grupo de islas sin vegetación bien definido que se ha formado a los pies del azud del Ebro. Las islas tienen una superficie total de 1730.13 m² (Fig. 10), una longitud máxima de 78.08 m, ambos parámetros registran sus valores mínimos y una anchura máxima de 43.10 m (Fig. 11). En la ortofotografía PNOA 2015 la colmatación de la zona ha dado lugar a la unión de las antiguas islas centrales en una única de mayor dimensión en la vegetación pionera comienza a proliferar, además, la isla situada al noreste ha experimentado un crecimiento notable en su eje longitudinal. La superficie total aumenta a 5628.39 m² (+225.37%), la longitud máxima a 137.92 m (+77.64%) y la anchura máxima a 57.68 m (+33%); los tres parámetros registran el mayor crecimiento de todo el periodo

estudiado (1999-2003 hasta 2018). En la ortofotografía PNOA 2018 la isla central se "fragmenta" en un grupo de tres islas de distinto desarrollo en sus ejes longitudinal y transversal en las que prolifera la vegetación pionera. Es posible que el grupo de las tres islas formen parte de una única de mayor dimensión, pero gran parte de su superficie se encuentre bajo la lámina de agua del cauce del río Ebro. La superficie total aumenta a 7793.92 m² (+38.45%), la longitud máxima aumenta a 191.16 m (+38.60%), ambos parámetros crecen en la misma proporción y registran sus valores máximos y la anchura máxima disminuye a 28.27 m (-50.99%) registrando su valor mínimo y su mayor decrecimiento de todo el periodo estudiado (1999-2003 hasta 2018).

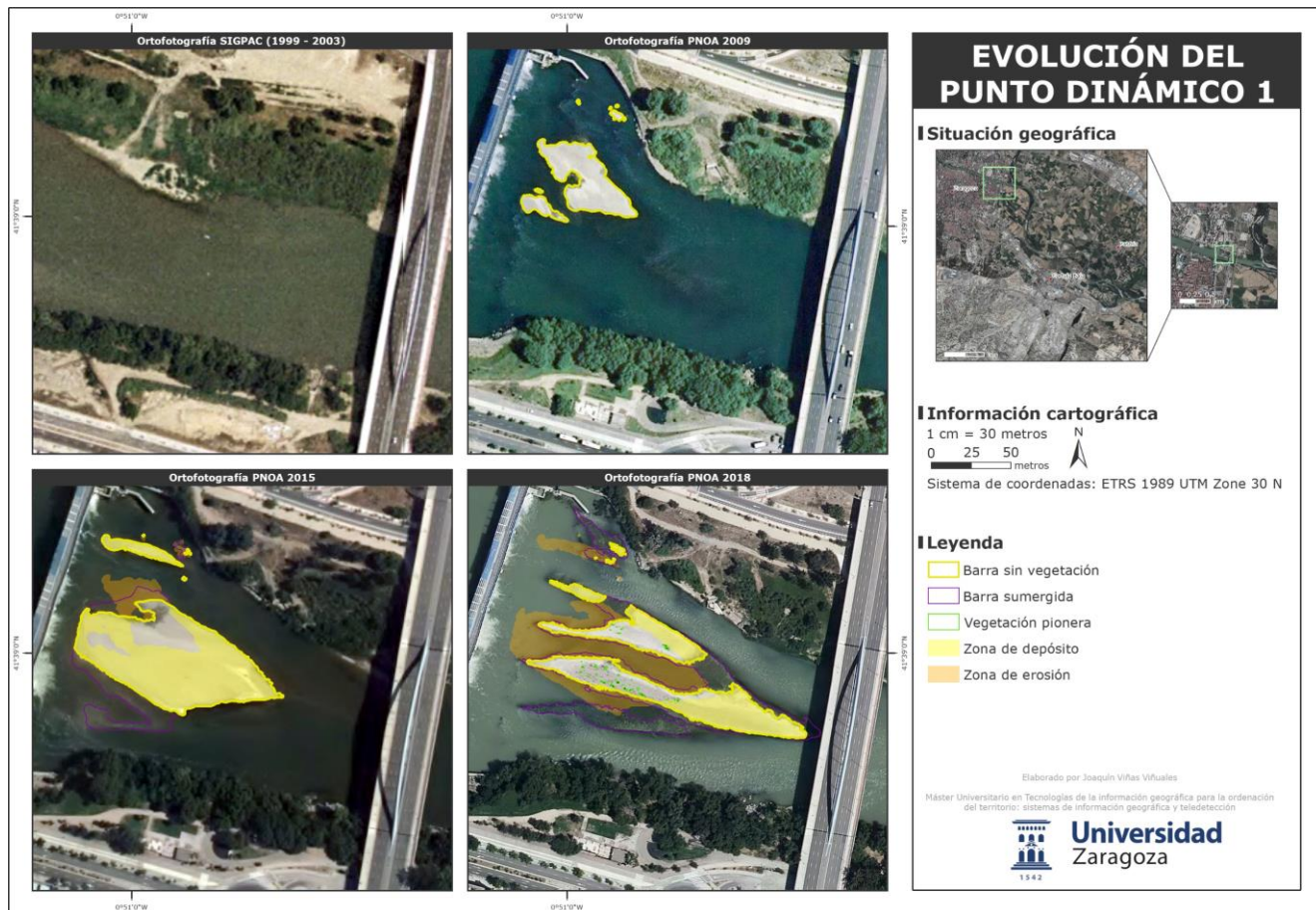


Figura 9. Cartografía diacrónica que muestra la evolución del punto dinámico 1 para cada periodo. Elaboración propia.

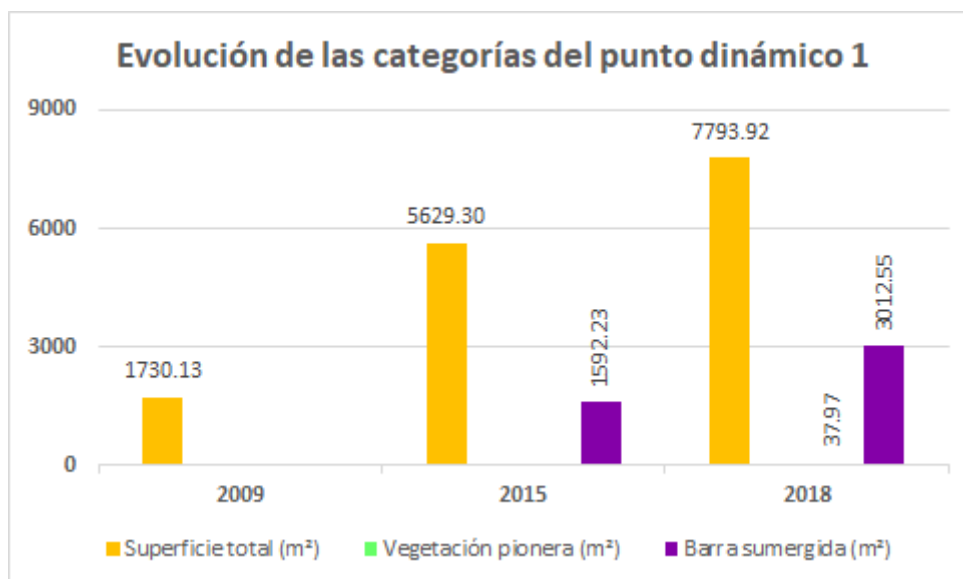


Figura 10. Histograma de la evolución de la superficie de las categorías (en m²) del punto dinámico 1 (total, vegetación pionera y barra sumergida) para cada año estudiado.

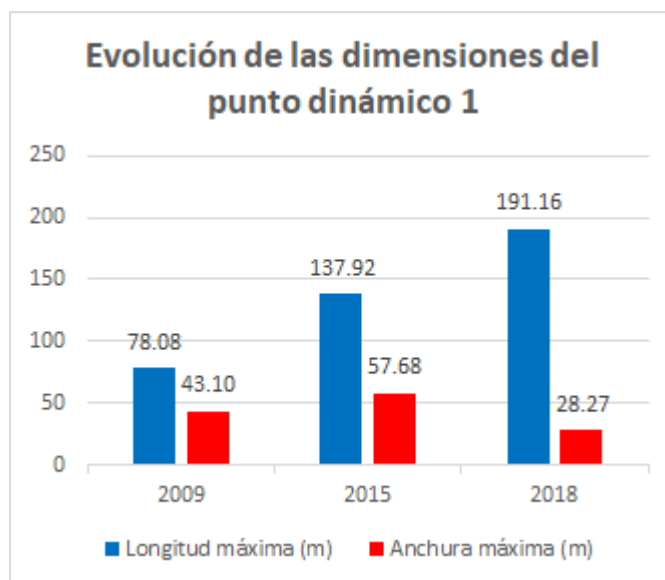


Figura 11. Histograma de la evolución de las dimensiones (en m) del punto dinámico 1 (longitud máxima y anchura máxima) para cada año estudiado.

El **punto dinámico 2** (Fig. 12) está constituido por las barras de meandro formadas en la confluencia del río Gállego con el río Ebro y la isla asociada a la desembocadura del afluente, destaca por los cambios vividos por el trazado del cauce del Gállego, la isla asociada a la desembocadura y la barra de meandro de la margen izquierda del río Ebro. Este punto dinámico está caracterizado por experimentar un crecimiento moderado a lo largo del periodo estudiado en el que la superficie total aumenta 3122.82 m² (+14.53%), la longitud máxima aumenta 184.52 m (+42.26%) y la anchura máxima aumenta 22.32 m (+19.38%). En la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) las barras de meandro de las márgenes tienen abundante vegetación madura y están estabilizadas, sin embargo, en ellas existen sectores evidentes sin vegetación, además, cabe destacar el desarrollo longitudinal de la isla sin vegetación formada en la confluencia. Las barras de meandro e islas tienen una superficie total de 21496.48 m² (Fig. 13), una longitud máxima de 436.68 m y una anchura máxima de 115.19 m (Fig. 14). En la ortofotografía PNOA 2009 el sector noroeste de la margen izquierda del río Ebro y la isla se erosionan moderadamente, sin embargo, se forma una barra de meandro en la desembocadura del río Gállego con un importante desarrollo longitudinal, además, la vegetación pionera comienza a proliferar en la isla. La superficie total disminuye a 18535.14 m² (-13.78%), la longitud total aumenta a 545.48 m (+24.91%) y la anchura máxima aumenta a 126.14 m (+9.5%). En la ortofotografía PNOA 2015 se erosiona por completo la barra de meandro que se había formado en la ortofotografía anterior, un sector de la barra de meandro cuya vegetación madura se había estabilizado desde antes de la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) y el sector inicial de la isla formada en la confluencia del río Gállego. La superficie total disminuye a 14065.16 m² (-24.12%), la longitud máxima a 380.67 m (-30.21%) y la anchura máxima a 71.64 m (-43.21%); los tres parámetros registran el mayor decrecimiento de todo el periodo estudiado (1999-2003 hasta 2018). En la ortofotografía PNOA 2018 "reaparece" la barra de meandro de la desembocadura del río Gállego con un desarrollo longitudinal y transversal mayor que cuando se depositó en la ortofotografía PNOA 2009. La superficie total aumenta a 24619.30 m² (+75.03%), la longitud máxima a 621.20 m (+63.18%) y la anchura máxima a 137.51 m (+91.94%); los tres parámetros registran sus valores máximos y el mayor crecimiento de todo el periodo estudiado (1999-2003 hasta 2018).

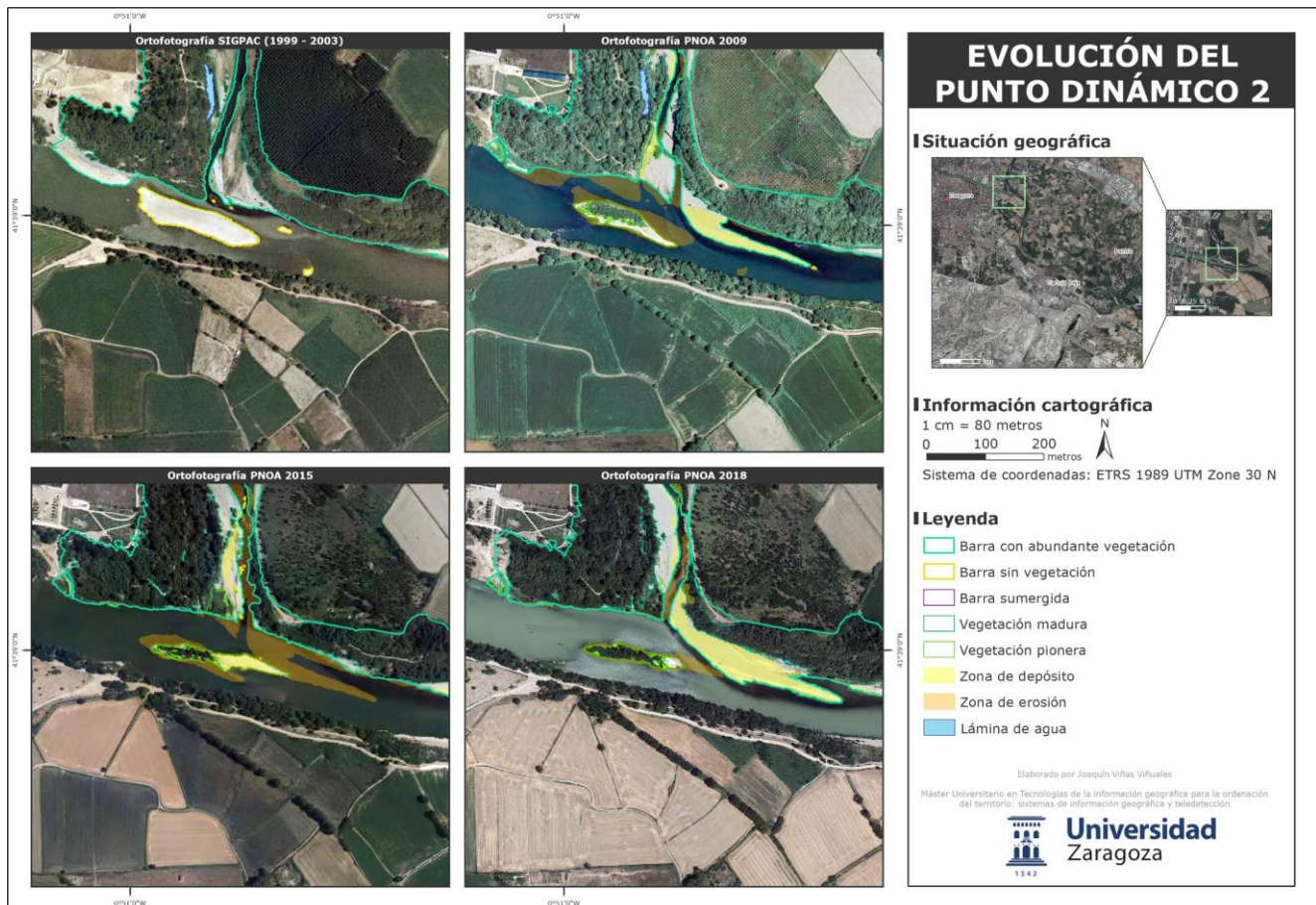


Figura 12. Cartografía diacrónica que muestra la evolución del punto dinámico 2 para cada periodo. Elaboración propia.

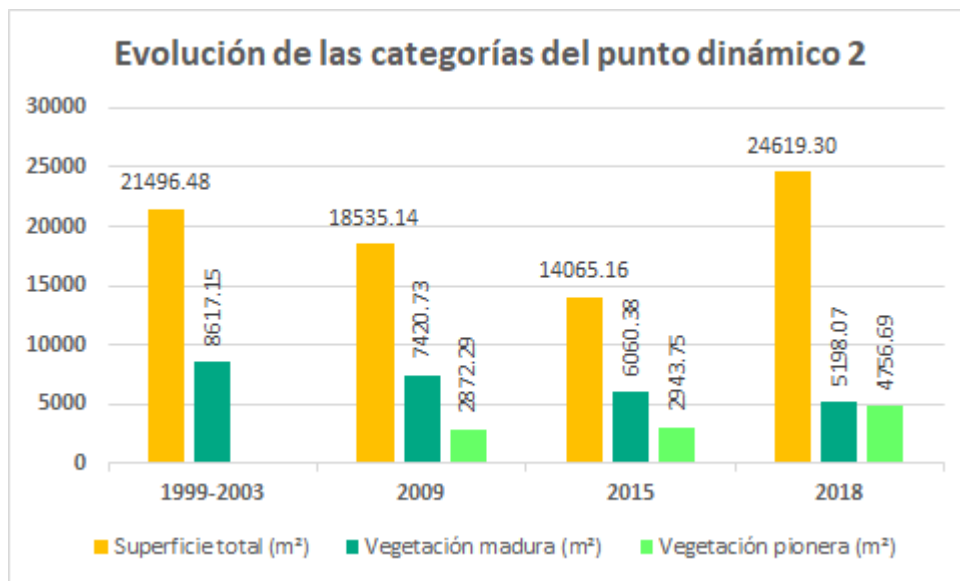


Figura 13. Histograma de la evolución de la superficie de las categorías (en m²) del punto dinámico 2 (total, vegetación madura y vegetación pionera) para cada año estudiado.

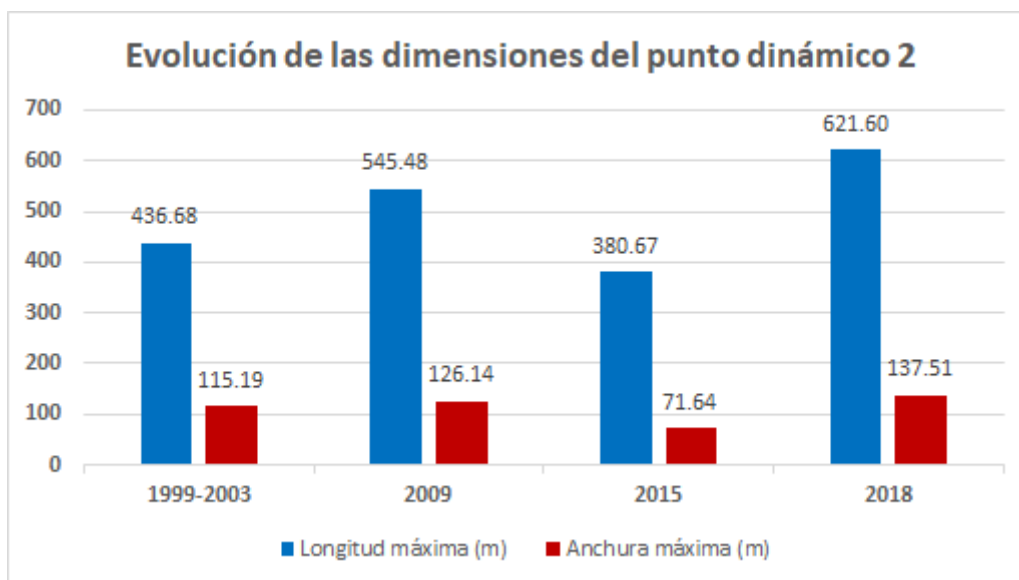


Figura 14. Histograma de la evolución de las dimensiones (en m) del punto dinámico 2 (longitud máxima y anchura máxima) para cada año estudiado.

El **punto dinámico 3** (Fig. 15) está constituido por la isla formada bajo la autovía Z-40, destaca por los grandes cambios experimentados por la isla como consecuencia de las obras de la autovía de circunvalación Z-40 que comenzaron en el año 2005 y la finalización del puente de la autovía sobre el río Ebro en 2008 que afectaron directamente al cauce del río Ebro en esta zona y originaron importantes cambios en la dinámica fluvial. Este punto está caracterizado por experimentar un decrecimiento notable a lo largo del periodo estudiado en el que la superficie total disminuye 11070.82 m^2 (-18.98%), la longitud máxima disminuye 43.78 m (-6.2%) y la anchura máxima disminuye 23.15 m (-20.04%). En la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) la barra de meandro tiene escasa vegetación madura y está adherida a la margen izquierda del río Ebro. La barra de meandro tiene una superficie total de 58320.41 m^2 (Fig. 16), una longitud máxima de 706.57 m y una anchura máxima de 115.50 m (Fig. 17); los tres parámetros registran sus valores máximos. En la ortofotografía PNOA 2009, terminada la construcción del puente de la autovía Z-40, la barra de meandro se desgaja prácticamente por completo en una isla de menor tamaño que se localiza en el norte. La superficie total disminuye drásticamente a 18763.81 m^2 (-67.83%), la longitud máxima a 333.21 m (-52.84%) y la anchura máxima a 90.54 m (-21.61%); los tres parámetros registran sus valores mínimos y el mayor decrecimiento de todo el periodo estudiado. En la ortofotografía PNOA 2015, a diferencia de la ortofotografía anterior, la isla se desplaza y experimenta un crecimiento notable en su eje longitudinal. La superficie total aumenta a 35688.35 m^2 (+90.19%), la longitud máxima a 578.26 m (+73.54%) y la anchura máxima a 94.71 m (+4.6%); los tres parámetros registran el mayor crecimiento de todo el periodo estudiado. En la ortofotografía PNOA 2018 la sedimentación se concentra en el extremo inicial y final de la isla en la que la escasa vegetación comienza a proliferar en las orillas, aunque no alcanza los valores que tenía en la ortofotografía SIGPAC (1999-2003), además, aparece una isla al norte. La superficie total aumenta notablemente a 47249.58 m^2 (+32.39%), la longitud máxima a 662.79 m (+14.61%) y la anchura máxima disminuye ligeramente a 92.35 m (-2.5%).

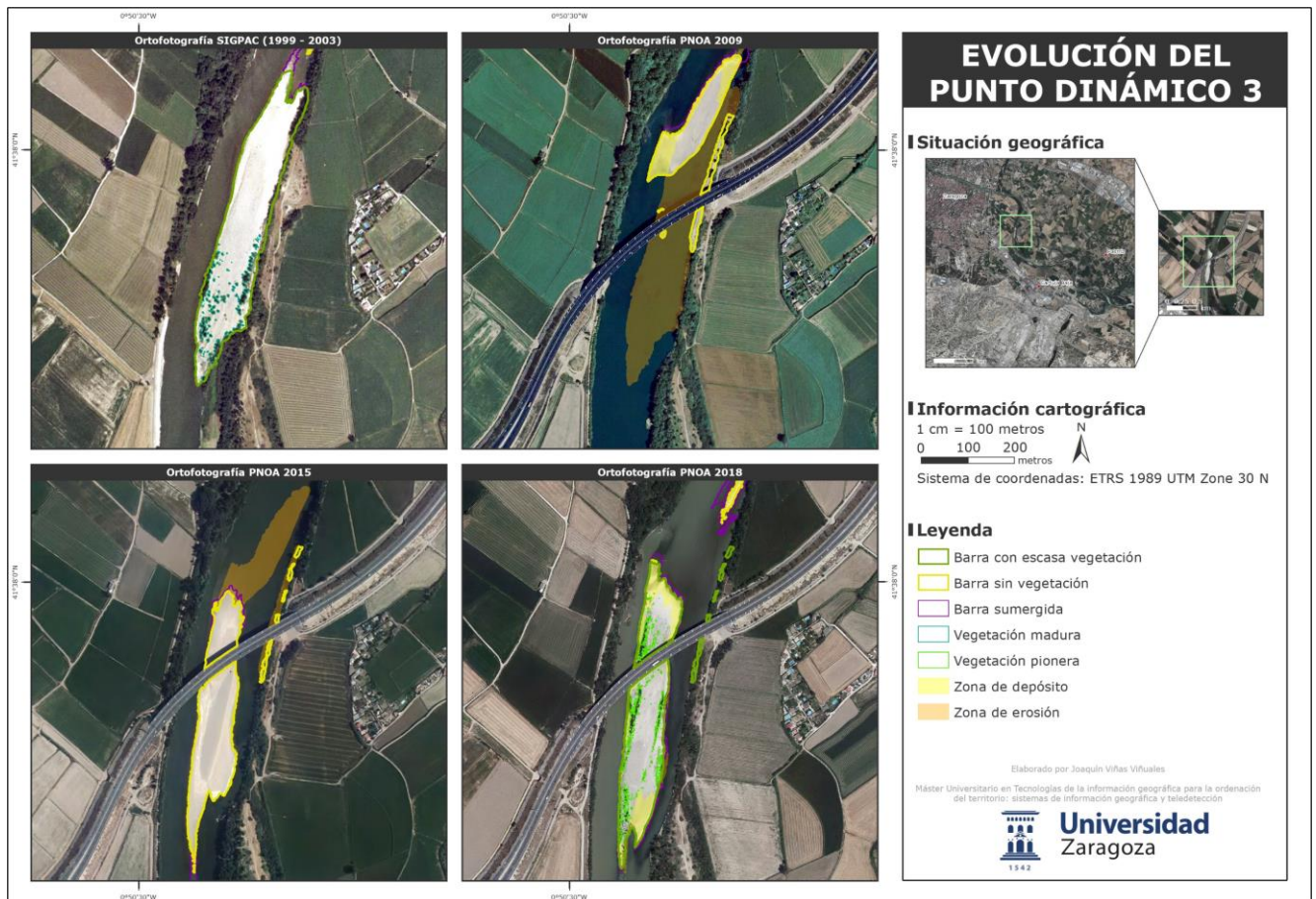


Figura 15. Cartografía diacrónica que muestra la evolución del punto dinámico 3 para cada periodo. Elaboración propia.

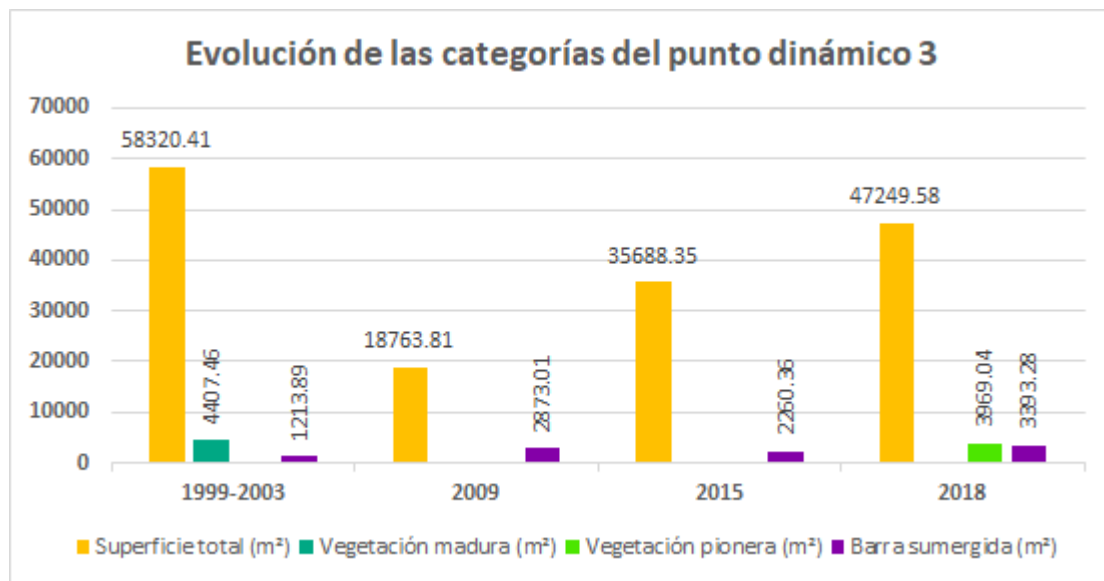


Figura 16. Histograma de la evolución de la superficie de las categorías (en m²) del punto dinámico 3 (total, vegetación madura, vegetación pionera y barra sumergida) para cada año estudiado.

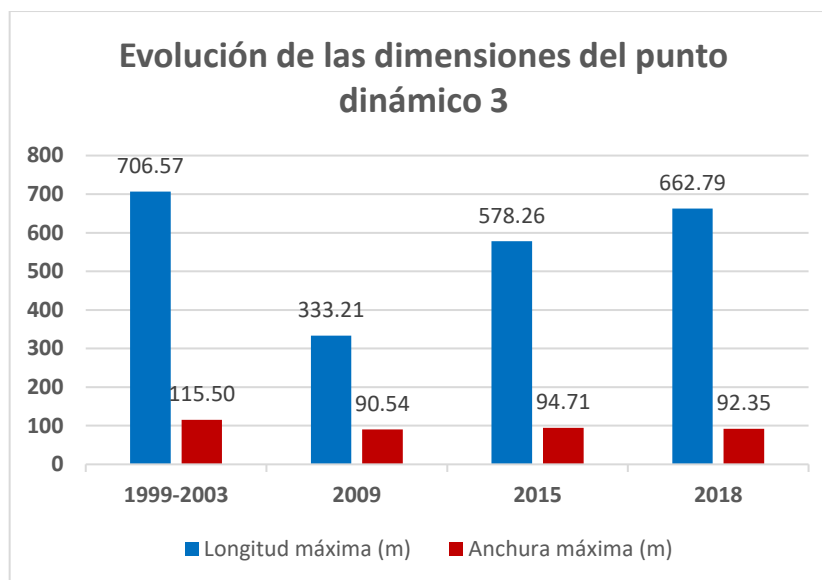


Figura 17. Histograma de la evolución de las dimensiones (en m) del punto dinámico 3 (longitud máxima y anchura máxima) para cada año estudiado.

El **punto dinámico 4** (Fig. 18) está constituido por la barra de meandro al norte del barrio de la Cartuja Baja, destaca por haber sido objetivo de acciones antrópicas por parte de la Confederación Hidrográfica del Ebro en la actualidad. Este punto está caracterizado por experimentar un ligero crecimiento a lo largo del periodo estudiado en el que la superficie total aumenta 3070.07 m^2 (+7.01%), la longitud máxima disminuye 8.52 m (-1.59%) y la anchura máxima aumenta 4.31 m (+3.29%). En la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) la barra de meandro tiene escasa vegetación madura que se concentra en la zona interior y en el extremo final. La barra de meandro tiene una superficie total de 43766.75 m^2 (Fig. 19), una longitud máxima de 535.92 , registrando su valor máximo, y una anchura máxima de 130.84 m (Fig. 20). En la ortofotografía PNOA 2009 la barra de meandro se erosiona en el sector norte, la vegetación madura prolifera colonizando prácticamente la totalidad de la orilla y la vegetación pionera comienza a colonizar el sector noreste. La superficie total disminuye ligeramente a 41627.3 m^2 (-4.89%), la longitud máxima a 520.90 m (-2.8%) y la anchura máxima disminuye moderadamente a 116.05 m (-11.30%); los tres parámetros registran sus valores mínimos y el mayor decrecimiento de todo el periodo estudiado. En la ortofotografía PNOA 2015 se produce la sedimentación en el sector norte y el extremo sureste de la barra de meandro. La superficie total ligeramente aumenta a 44590.18 m^2 (+7.11%) superando al valor que tenía la barra de meandro en la ortofotografía SIGPAC (1999-2003), la longitud máxima aumenta a 526.58 m (+1.09%); ambos parámetros registran el mayor crecimiento de todo el periodo estudiado, y la anchura máxima aumenta a 124.08 m (+6.91%). En la ortofotografía PNOA 2018 el extremo sureste de la barra de meandro prácticamente se ha formado una laguna debido a la colmatación en ese sector. La superficie total aumenta a 46836.82 m^2 (+5.03%) registrando su valor máximo, la longitud máxima aumenta a 527.4 m (+0.15%) y la anchura máxima a 135.15 m (8.92%) registrando su valor máximo y el mayor crecimiento de todo el periodo estudiado.

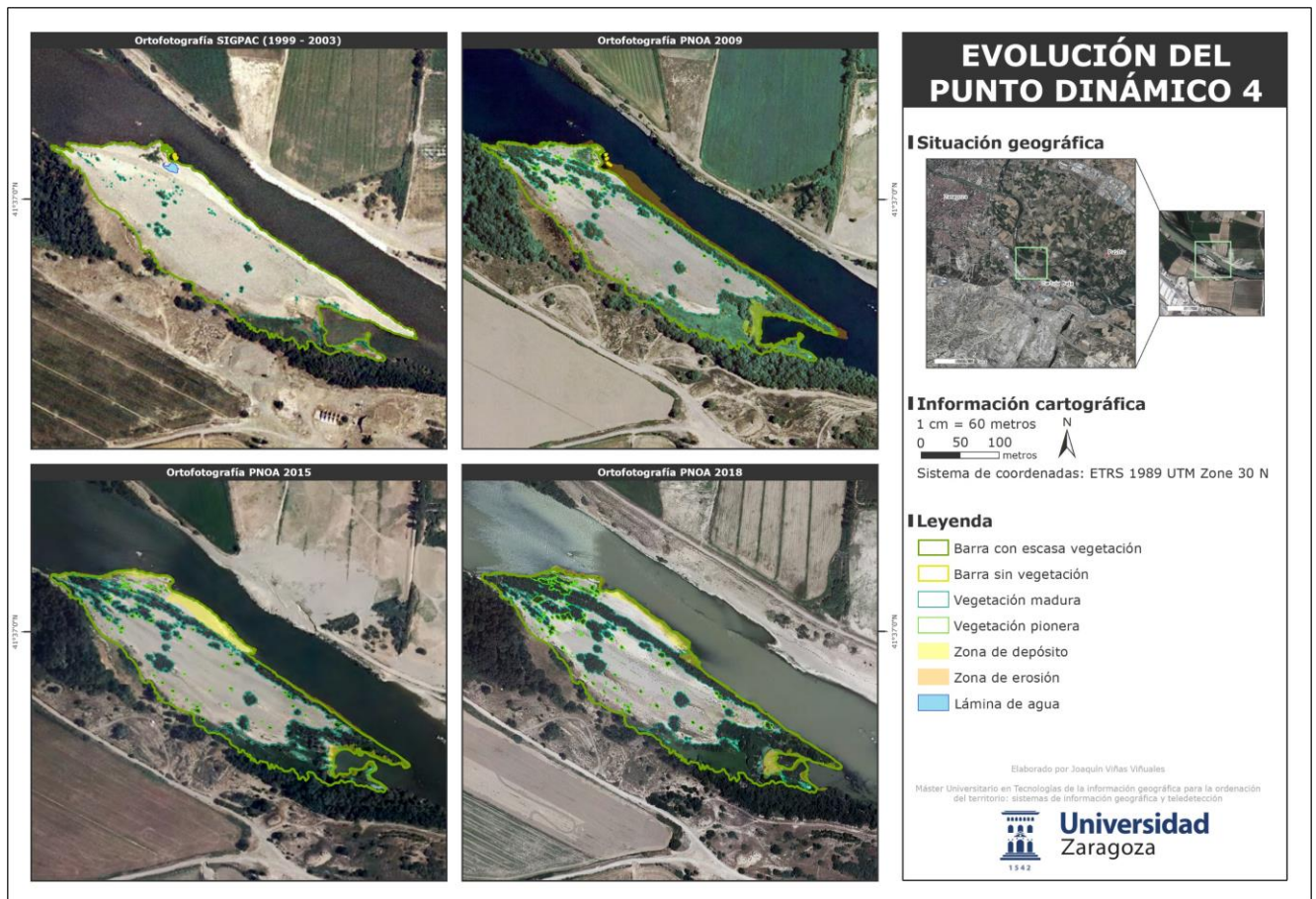


Figura 18. Cartografía diacrónica del punto dinámico 4 que indica su evolución.

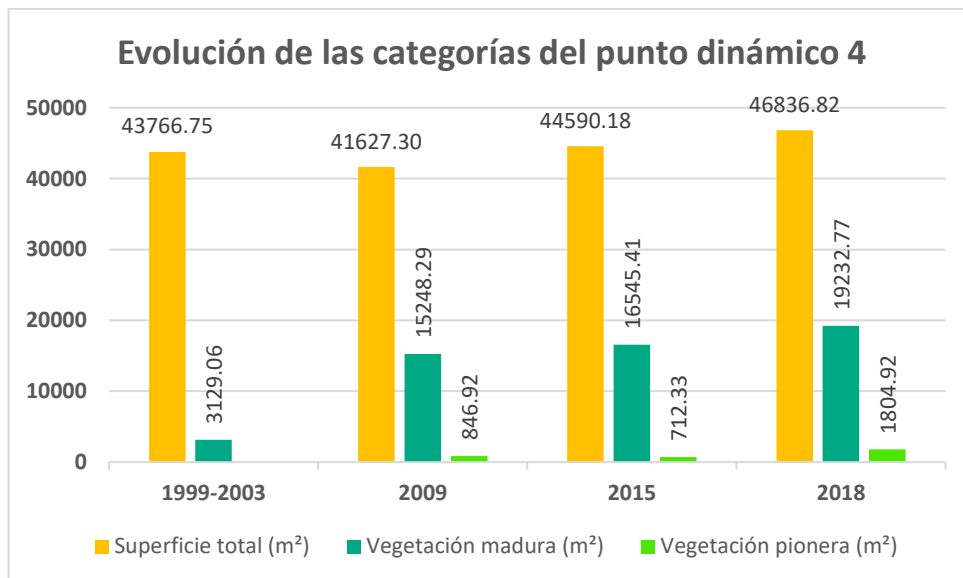


Figura 19. Histograma de la evolución de la superficie de las categorías (en m²) del punto dinámico 4 (total, vegetación madura y vegetación pionera) para cada año estudiado.

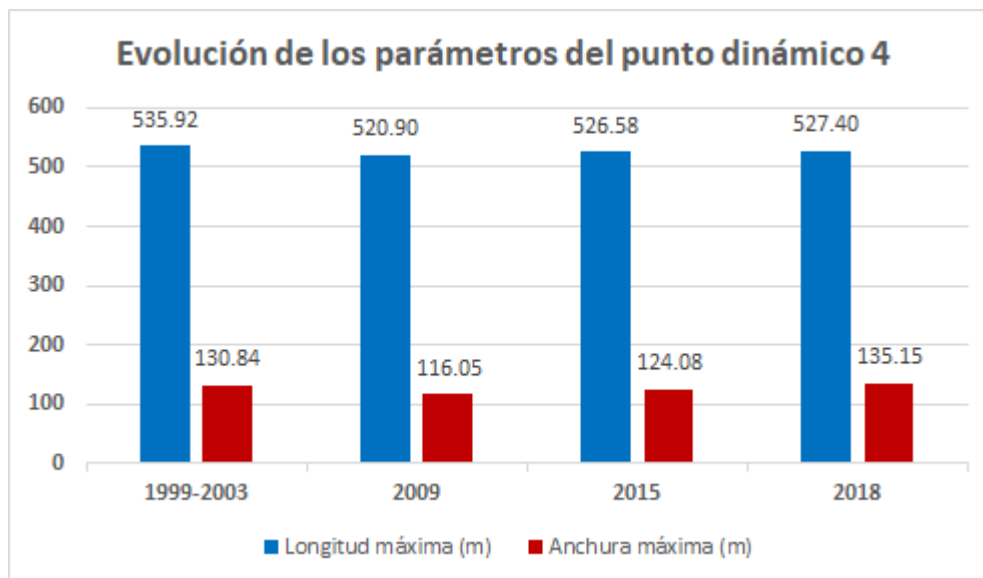


Figura 20. Histograma de la evolución de las dimensiones (en m) del punto dinámico 4 (longitud máxima y anchura máxima) para cada año estudiado.

El **punto dinámico 5** (Fig. 21) está constituido únicamente por la extensión de la entrada de sedimentos que se produjo durante la crecida de abril de 2018. Tiene una superficie total de 30713.02 m².



Figura 21. Cartografía diacrónica que muestra el alcance y superficie de los sedimentos de la crecida de 2018 en el punto dinámico 5. Elaboración propia.

El **punto dinámico 6** (Fig. 22) está constituido por una barra de meandro de gran extensión longitudinal originada en la margen derecha del río Ebro y situada al norte de la depuradora del municipio de la Cartuja Baja. Este punto está caracterizado por experimentar un crecimiento moderado a lo largo del periodo estudiado en el que, aunque la superficie total disminuye 5197.18 m² (-5.49%), la longitud máxima aumenta 42.2 m (+5.53%) y la anchura máxima aumenta 26.73 m (11.42%). En la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) la barra de meandro tiene escasa vegetación madura que se sitúa en la zona interior y está separada al noroeste de otro sector de menor tamaño. La barra de meandro tiene una superficie total de 94650.74 m² (Fig. 23), registrando su valor máximo, una longitud máxima de 762.53 m y una anchura máxima de 233.97 m (Fig. 24), registrando sus valores mínimos. En la ortofotografía PNOA 2009 la separación que existía previamente entre los dos sectores de la barra de meandro en el noroeste prácticamente desaparece como consecuencia de la sedimentación en esa área, sin embargo, un sector de la barra de meandro todavía se mantiene adherido a la margen derecha. La vegetación pionera comienza a proliferar notablemente en los extremos de la barra y la zona interior. La superficie total disminuye ligeramente a 93163.84 m² (-1.57%), la longitud máxima aumenta ligeramente a 800.79 m (+5.01%) y la anchura máxima aumenta ligeramente a 242.96 m (+3.84%). En la ortofotografía PNOA 2015 el sector de la barra de meandro adherido a la margen derecha se erosiona y la vegetación continúa proliferando y colonizando nuevos sectores de la barra. La superficie total disminuye ligeramente a 89709.09 m² (-3.7%), experimentando su mayor decrecimiento de todo el periodo estudiado, la longitud máxima aumenta ligeramente a 803.82 m (+0.3%) y la anchura máxima aumenta ligeramente a 257.90 m (+6.14%), experimentando su mayor crecimiento de todo el periodo estudiado. En la ortofotografía PNOA 2018 la sedimentación se concentra en el norte de la barra de meandro y la vegetación pionera comienza a colonizar la zona interior. La superficie total disminuye ligeramente a 89453.56 m² (-0.28), registrando su valor mínimo, por el contrario, la longitud máxima aumenta ligeramente a 804.73 m (+0.11%) y la anchura máxima aumenta ligeramente a 260.7 m (+1.08%) registrando ambos parámetros sus valores máximos.

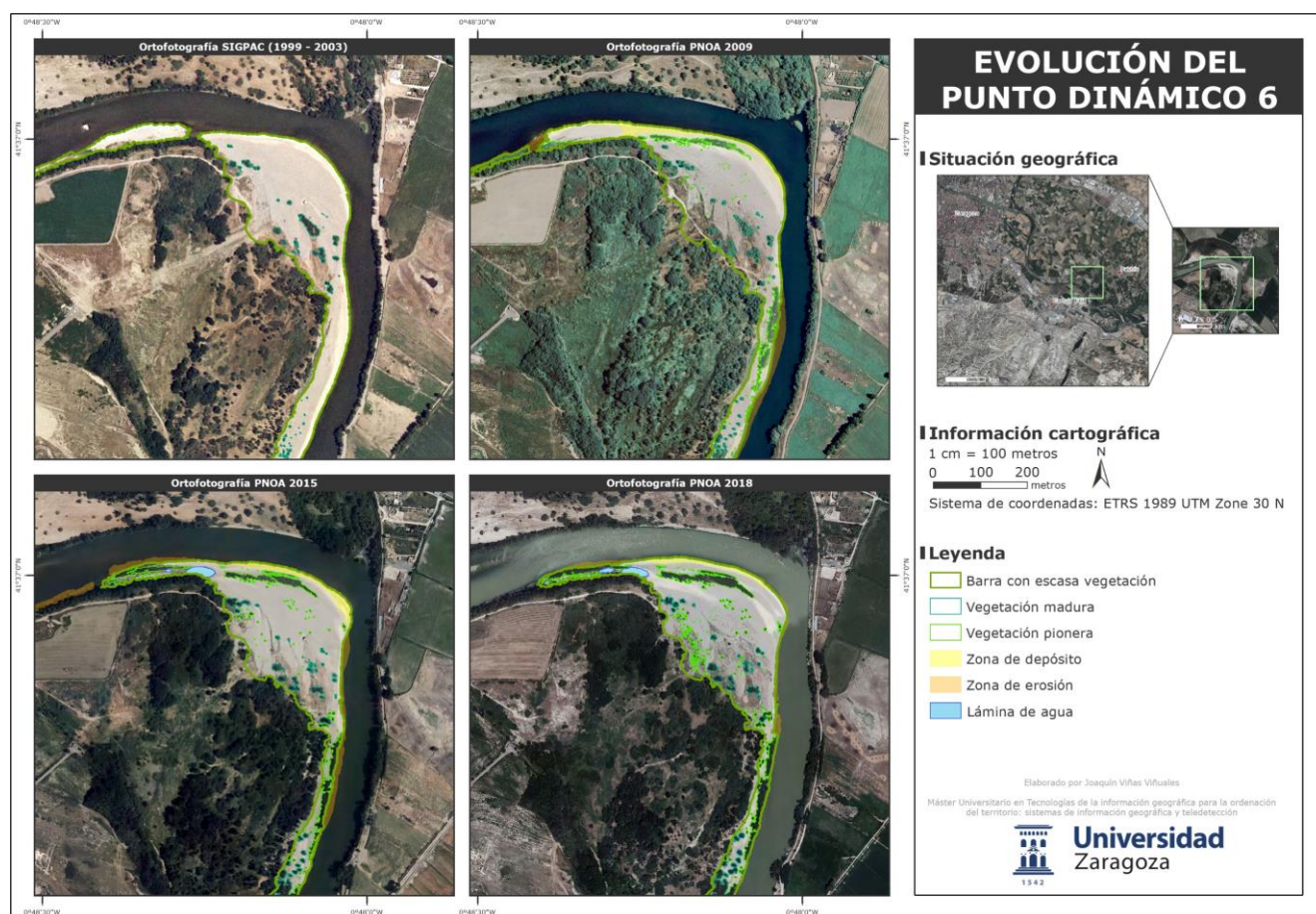


Figura 22. Cartografía diacrónica que muestra la evolución del punto dinámico 6 para cada periodo. Elaboración propia.

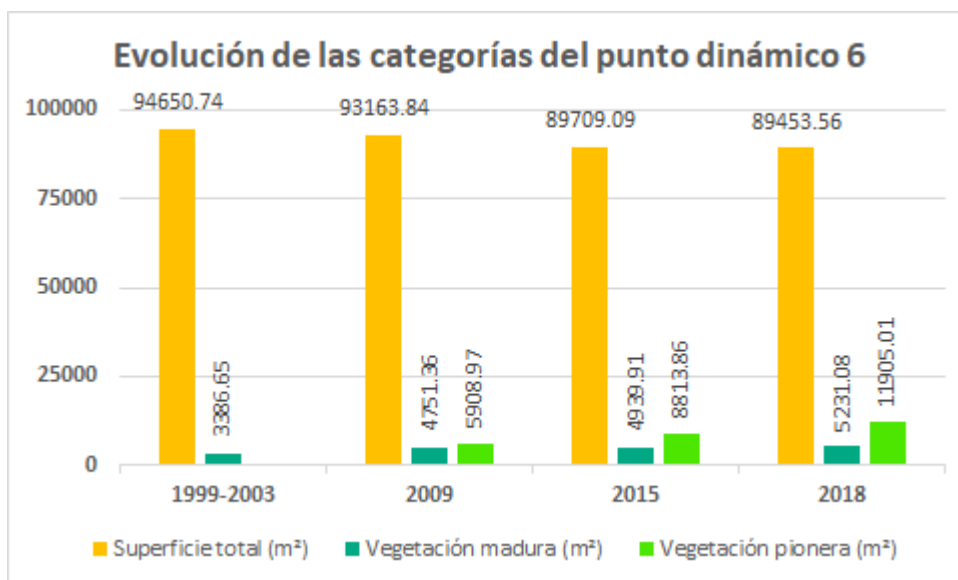


Figura 23. Histograma de la evolución de la superficie de las categorías (en m²) del punto dinámico 6 (total, vegetación madura y vegetación pionera) para cada año estudiado.

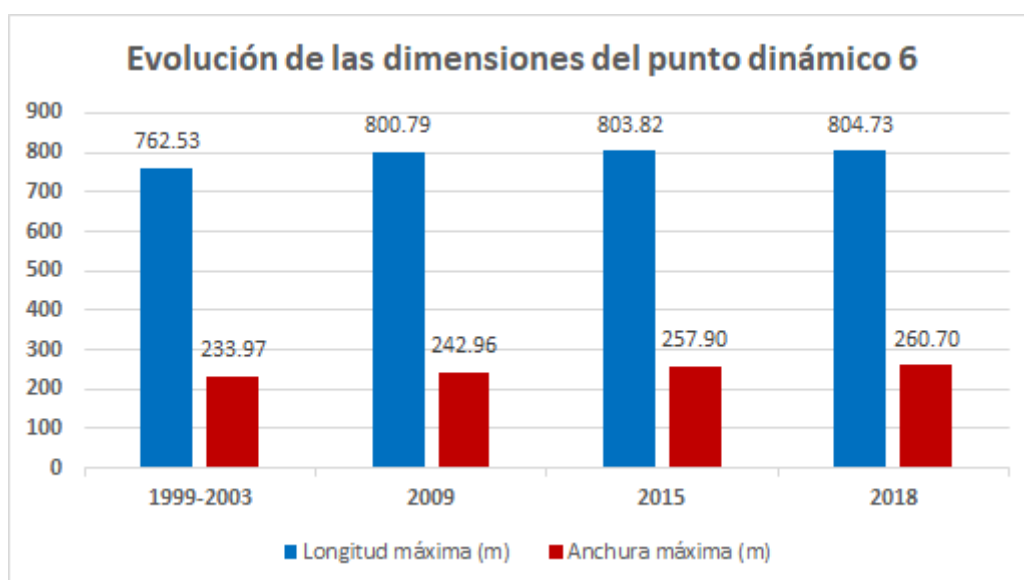


Figura 24. Histograma de la evolución de las dimensiones (en m) del punto dinámico 6 (longitud máxima y anchura máxima) para cada año estudiado.

El **punto dinámico 7** (Fig. 25) está constituido por una gran barra de meandro originada en la margen izquierda del río Ebro situada al sur de la localidad de Pastriz cuya larga orilla sufre intensos procesos de erosión, destaca por la evidencia de diferentes entradas de sedimentos de crecida como consecuencia de sucesivos episodios de inundación a lo de los últimos años. Este punto está caracterizado por experimentar un crecimiento ligero a lo largo del periodo estudiado en el que, aunque la superficie total disminuye 1485.01 m² (-0.55%), la longitud máxima 47.18 m (+9.64%) y la anchura máxima aumenta 19.23 m (+4.75%). En la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) la barra de meandro tiene abundante vegetación madura y su orilla erosiva se encuentra bastante próxima a la margen contraria. Además, como se ha comentado anteriormente, se observa claramente una forma lingüiforme de una entrada de sedimentos de una crecida reciente en la que todavía no ha proliferado la vegetación. La barra de meandro tiene una superficie total de 268114.04 m² (Fig. 26), registrando su valor máximo, una longitud máxima de 489.18 m y una anchura máxima de 405.13 m (Fig. 27); ambos parámetros registran sus valores mínimos. En la ortofotografía PNOA 2009 los procesos de erosión en la orilla noroeste provocan que la barra de meandro se aleje de la margen contraria pero la sedimentación da lugar a una aproximación a la margen contraria del sector sur. La vegetación pionera comienza a

proliferar en el sector norte de la antigua entrada de sedimentos, cerca de la orilla. La superficie total disminuye ligeramente a 267371 m² (-0.28%), la longitud máxima aumenta ligeramente a 514.20 m (+5.11%) y la anchura máxima aumenta a 419 m (+3.42%); ambos parámetros experimentan su mayor crecimiento de todo el periodo estudiado. En la ortofotografía PNOA 2015 los procesos de erosión continúan en la orilla y se observa la entrada de sedimentos de la crecida del 2015. La superficie total disminuye a 261193.18 m² (-2.31%), registrando su valor mínimo y experimentando el mayor decrecimiento de todo el periodo estudiado, la longitud máxima aumenta ligeramente a 525.64 m (+2.22%) y la anchura máxima disminuye ligeramente a 416.41 m (-0.62%), experimentando su mayor decrecimiento de todo el periodo estudiado. En la ortofotografía PNOA 2018 se produce la sedimentación en el inicio de la barra de meandro y en el extremo sur, en esta ortofotografía también se observa la entrada de sedimentos de la crecida del 2018 que se ha cuantificado en 45399.49 m². La superficie total aumente ligeramente a 266629.03 m² (+2.08%), experimentando su mayor crecimiento de todo el periodo estudiado, sin embargo, no alcanza el valor inicial que tenía la barra de meandro en la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) por 1485.01 m², la longitud máxima aumenta ligeramente a 536.36 m (+2.04%) y la anchura máxima aumenta a 424.36 m (+1.91%), ambos parámetros registran sus valores máximos.

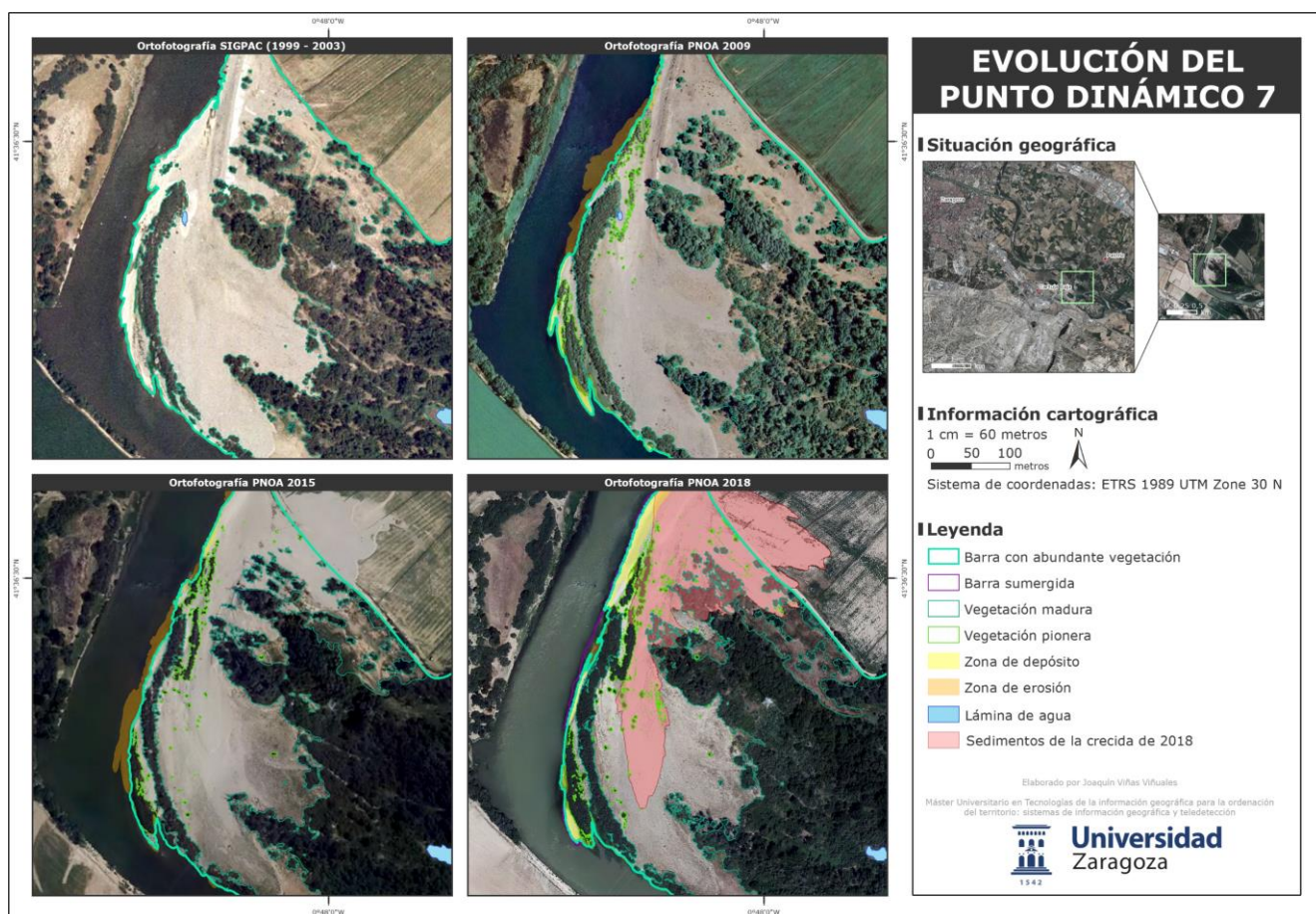


Figura 25. Cartografía diacrónica que muestra la evolución del punto dinámico 1 para cada periodo.
Elaboración propia.

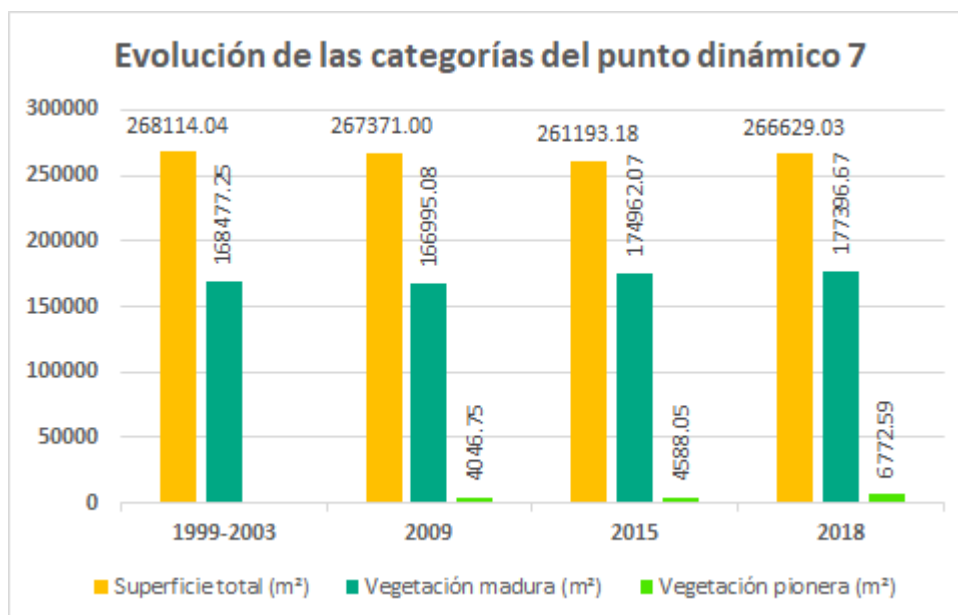


Figura 26. Histograma de la evolución de la superficie de las categorías (en m²) del punto dinámico 7 (total, vegetación madura y vegetación pionera) para cada año estudiado.

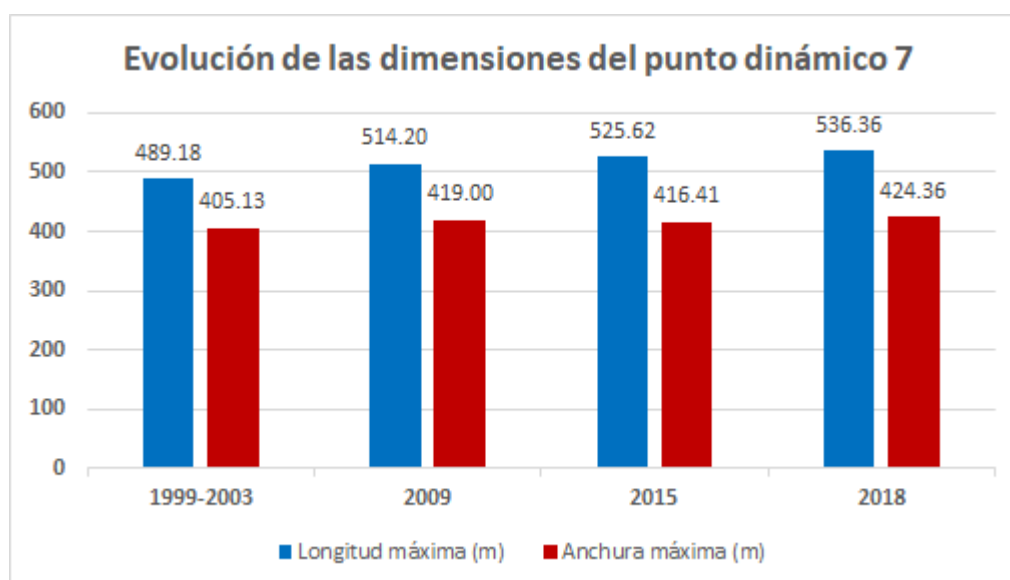


Figura 27. Histograma de la evolución de las dimensiones (en m) del punto dinámico 7 (longitud máxima y anchura máxima) para cada año estudiado.

El **punto dinámico 8** (Fig. 28) está constituido por las islas del Soto del Francés y la orilla erosiva de la margen derecha del río Ebro, destaca por la consolidación de una isla central de mayor tamaño como resultado de la unión de dos islas, la aparición de otra isla de menor tamaño al sur y un intenso proceso de erosión en la margen derecha. Este punto está caracterizado por experimentar un crecimiento notable a lo largo del periodo estudiado en el que la superficie total aumenta 9655.23 m² (+18.99%), la longitud máxima 29.58 (+6.48%) y la anchura máxima 41.72 m (+30.36%). En la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) las dos islas principales del sector central se encuentran muy próximas, la de menor tamaño, situada al norte, tiene escasa vegetación madura; mientras que, la de mayor tamaño está colonizada casi totalmente por la vegetación madura. Las islas tienen una superficie total de 50847.86 m² (Fig. 29), una longitud máxima de 456.37 m, ambos parámetros registran sus valores mínimos, y una anchura máxima de 137.44 m (Fig. 30). En la ortofotografía PNOA 2009 la isla situada al norte aumenta sus dimensiones por la colmatación del espacio entre las dos islas lo que provocará su inminente unión, además, la vegetación pionera comienza a proliferar en la isla. Al mismo tiempo la margen derecha se erosiona notablemente y se origina una isla de menor tamaño al sur. La superficie total aumenta moderadamente a 58446.18 m² (+14.94%), registrando el mayor crecimiento de todo el periodo estudiado, la longitud máxima aumenta ligeramente a 463.64 m (+1.59%) y la anchura

máxima disminuye a 132.81 m (-3.37%), registrando su valor mínimo. En la ortofotografía PNOA 2015 se ha producido la unión de las islas centrales constituyendo una gran isla con abundante vegetación madura en el sector central y vegetación pionera en el noreste. La isla del sur experimenta un crecimiento notable en su eje longitudinal y transversal, la margen derecha se erosiona drásticamente y aparece una nueva isla de menor tamaño aguas abajo. La superficie total aumenta ligeramente a 61694.06 m² (+5.56%), la longitud máxima aumenta a 486.70 m (+4.97%), ambos parámetros registran sus valores máximos, y la anchura máxima aumenta notablemente a 486.70 m (+30.93%), ambos parámetros registran el mayor crecimiento durante el periodo analizado. En la ortofotografía PNOA 2018 la vegetación pionera sigue proliferando y comienza a colonizar la isla del sur y aparece una nueva isla aguas abajo. La superficie total disminuye ligeramente a 60503.09 m² (-1.93%), la longitud máxima disminuye a 485.95 m (-0.15%), ambos parámetros registran sus valores mínimos, por el contrario, la anchura máxima aumenta ligeramente a 179.16 m (+3.02%).

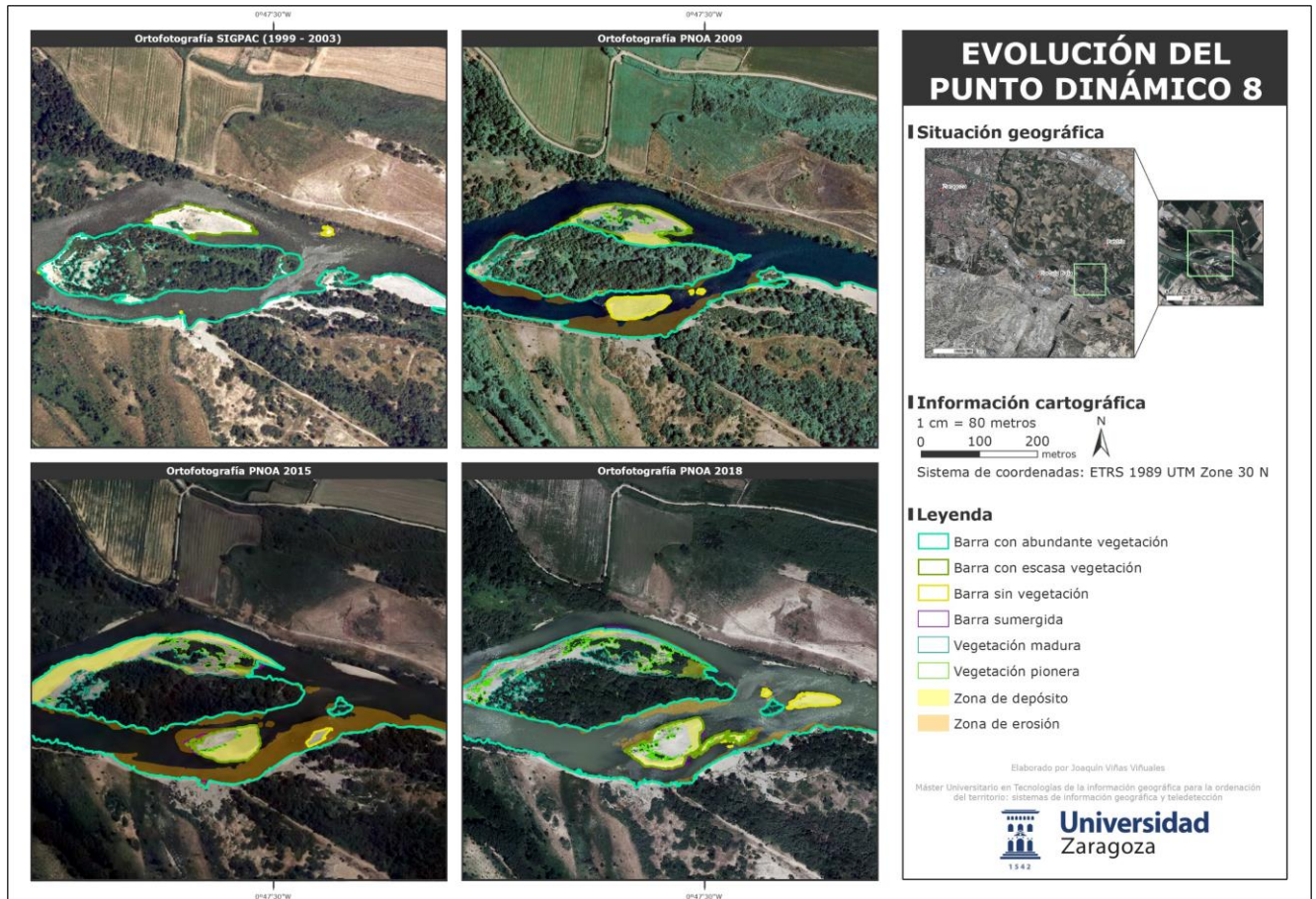


Figura 28. Cartografía diacrónica que muestra la evolución del punto dinámico 8 para cada periodo.
Elaboración propia.

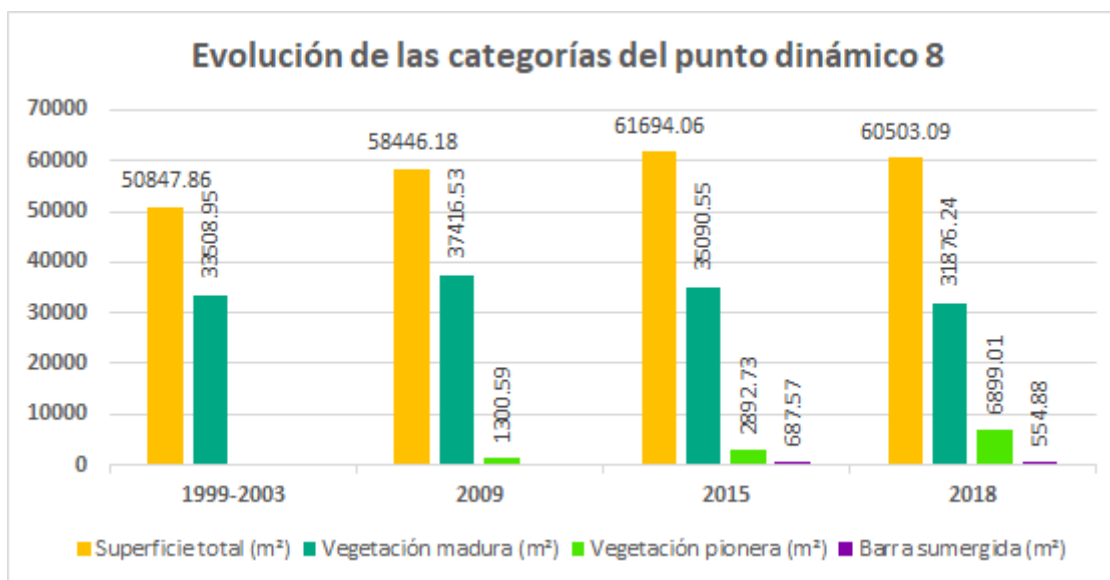


Figura 29. Histograma de la evolución de la superficie de las categorías (en m²) del punto dinámico 8 (total, vegetación madura, vegetación pionera y barra sumergida) para cada año estudiado.

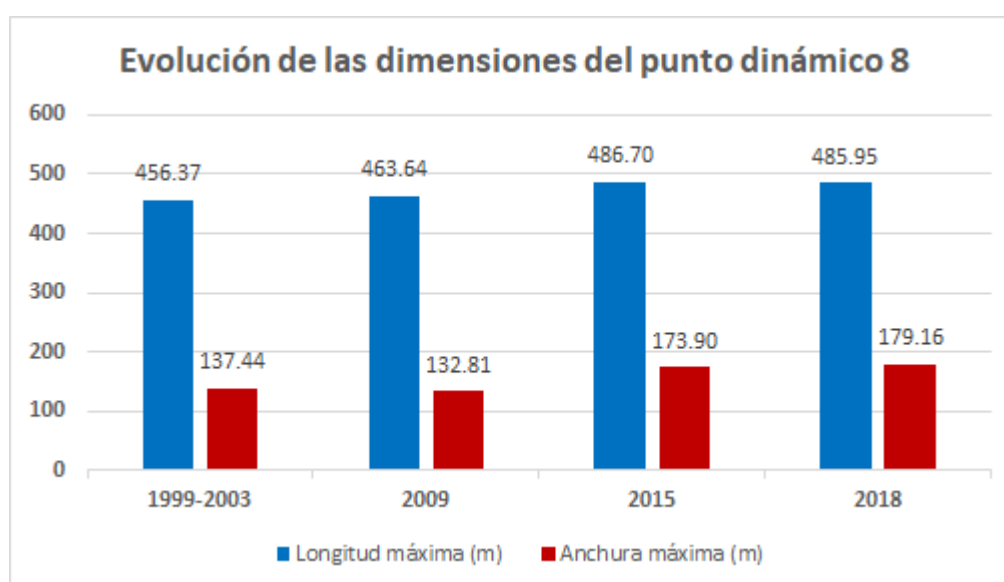


Figura 30. Histograma de la evolución de las dimensiones (en m) del punto dinámico 8 (longitud máxima y anchura máxima) para cada año estudiado.

El **punto dinámico 9** (Fig. 31) está constituido por el inicio de la barra de meandro situada al noreste de los galachos de la Alfranca, destaca por el elevado desarrollo longitudinal desde el primer periodo estudiado (1999-2003 a 2009) hasta el final del periodo (2018). Este punto está caracterizado por experimentar un crecimiento drástico a lo largo del periodo estudiado en el que la superficie total aumenta 15971.72 m² (+53.55%), la longitud máxima 257.77 m (+110.24%) y la anchura máxima 26.03 m (+44.4%). En la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) la barra de meandro tiene escasa vegetación madura y está comenzando a formarse, cabe destacar un pequeño grupo de islas en el sector norte. La barra de meandro tiene una superficie total de 298727.99 m² (Fig. 32), una longitud máxima de 250.15 m y una anchura máxima de 58.62 m (Fig. 33); los tres parámetros registran sus valores mínimos. En la ortofotografía PNOA 2009 la sedimentación se concentra en el inicio de la barra de meandro, que se aproxima notablemente a la margen contraria debido a un elevado desarrollo en el eje transversal. La vegetación pionera comienza a proliferar en el sector norte, cerca de la orilla. La superficie total aumenta notablemente a 38255.18 m² (+28.25%), la longitud máxima a 362.48 m (+44.9%) y la anchura máxima aumenta drásticamente a 91.74 m (+56.49%), registran su valor máximo; los tres parámetros experimentan su mayor crecimiento a lo largo del periodo estudiado. En la ortofotografía PNOA 2015

el sector central de la barra sufre un acusado proceso de erosión, sin embargo, la sedimentación que se produce en ambos extremos de la barra de meandro sobrepasa la pérdida de material. La vegetación pionera prolifera extensamente a lo largo de toda la barra de meandro, incluyendo las nuevas zonas de depósito. La superficie total aumenta ligeramente a 41748.60 m (+9.13%), la longitud máxima aumenta notablemente a 522.65 m (+44.18%) en la misma proporción que para el periodo anterior (1999-2003 hasta 2009), registrando su valor máximo; por el contrario, la anchura máxima disminuye notablemente a 77.83 m (-15.17%), registrando su menor crecimiento durante todo el periodo estudiado. En la ortofotografía PNOA 2018 la erosión del sector central de la barra de meandro y la sedimentación en ambos extremos continua, la superficie total aumenta ligeramente a 45799.75 m² (+9.7%), la longitud máxima aumenta a 525.92 m (+0.62%), ambos parámetros registran sus valores máximos, y la anchura máxima aumenta a 84.65 m (+8.76%).

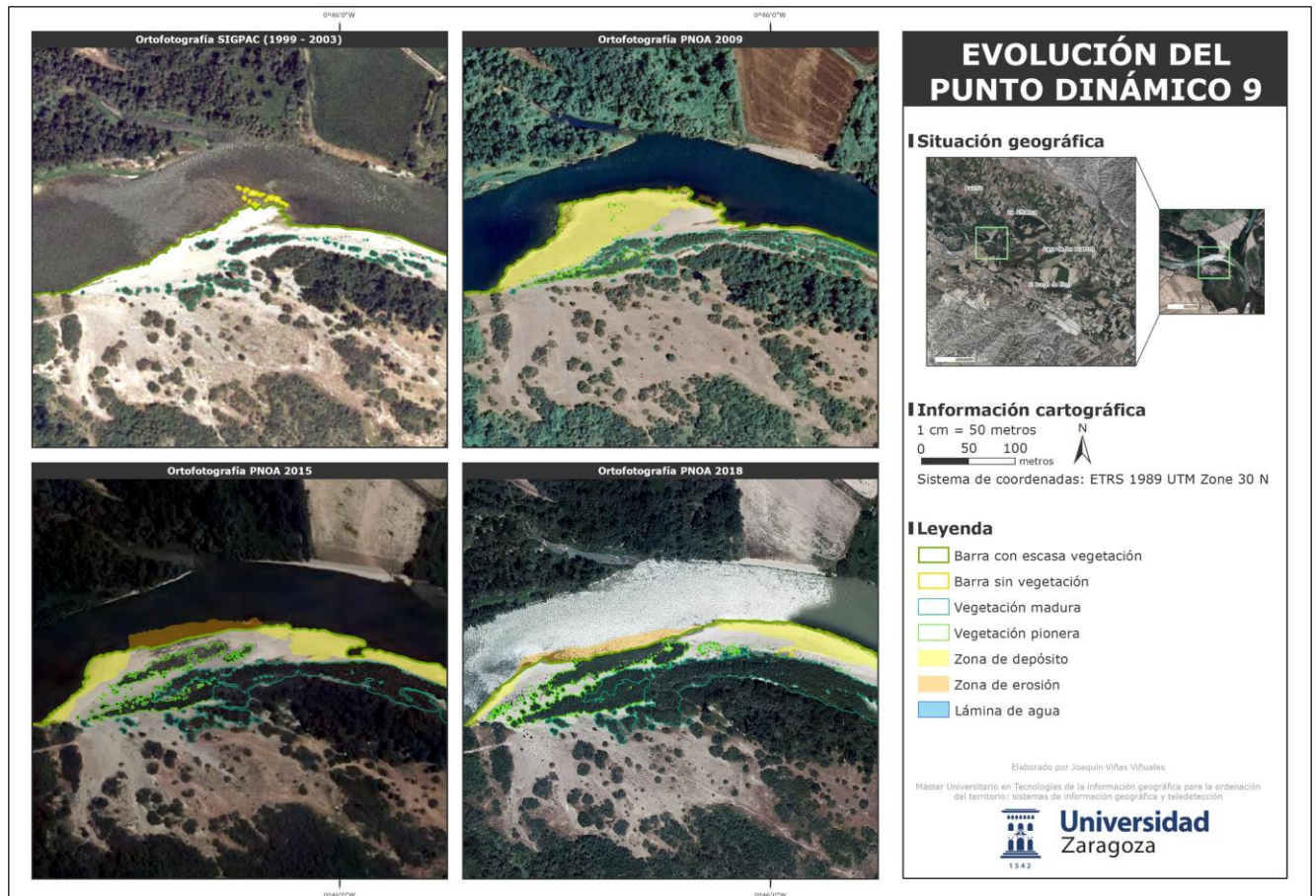


Figura 31. Cartografía diacrónica que muestra la evolución del punto dinámico 9 para cada periodo. Elaboración propia.

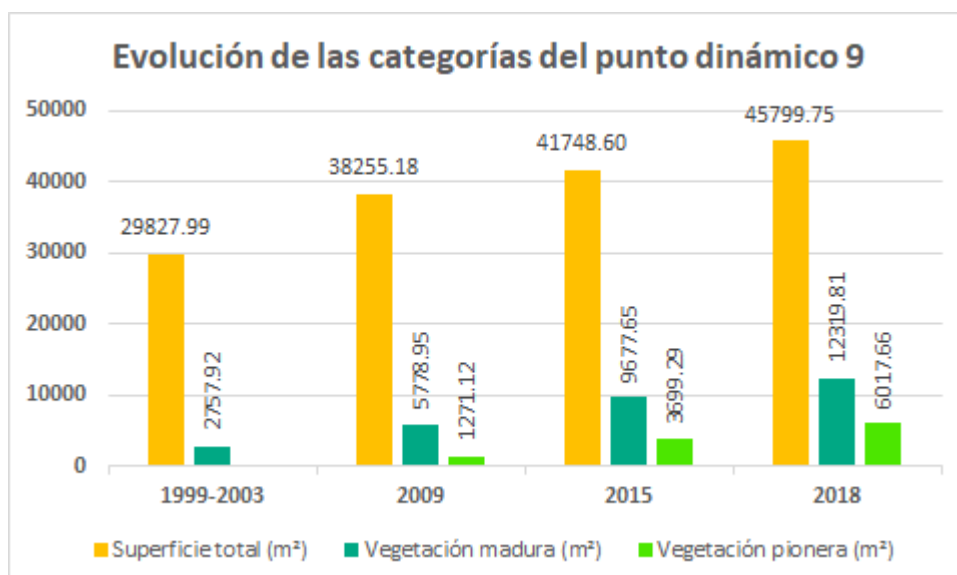


Figura 32. Histograma de la evolución de la superficie de las categorías (en m²) del punto dinámico 9 (total, vegetación madura y vegetación pionera) para cada año estudiado.

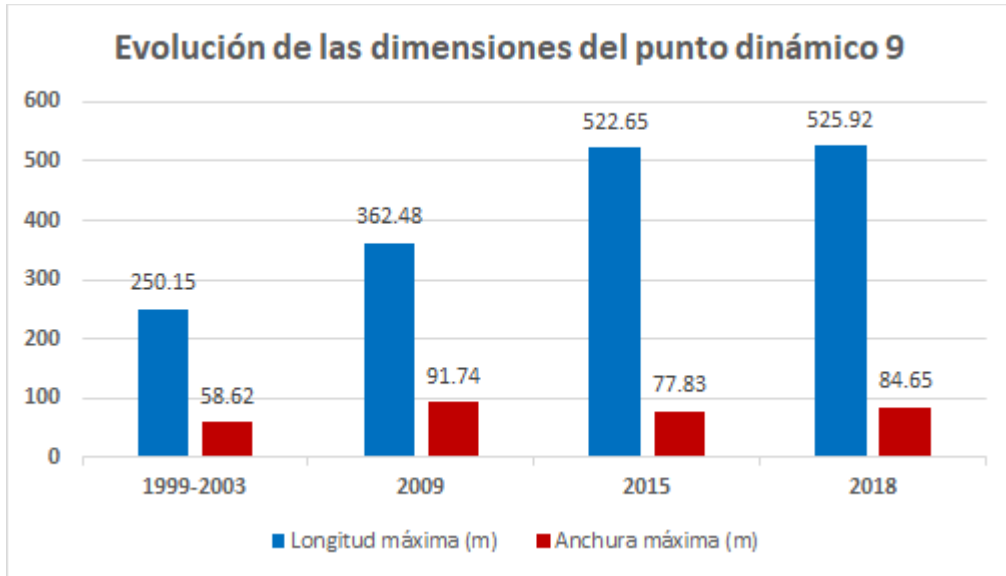


Figura 33. Histograma de la evolución de las dimensiones (en m) del punto dinámico 9 (longitud máxima y anchura máxima) para cada año estudiado.

El **punto dinámico 10** (Fig. 34) está constituido por las islas del Rincón Falso y la margen izquierda del río Ebro, destaca por la formación de una gran isla aguas abajo como consecuencia del desgaje de la barra de meandro adherida a la margen contraria del río Ebro. Este punto está caracterizado por experimentar un decrecimiento ligero a lo largo del periodo estudiado en el que la superficie total disminuye 10361.97 m² (-5.97%) y la anchura máxima 3.21 m (-1.23%); sin embargo, la longitud máxima aumenta 20.80 m (+2.74%). En la ortofotografía SIGPAC (1999-2993) la barra de meandro de la margen izquierda tiene escasa vegetación madura que se concentra en el sector central, al igual que en el punto dinámico 7 se observa una forma lingüiforme de una entrada de sedimentos de una crecida reciente en la que todavía no ha proliferado la vegetación que atraviesa la barra de meandro completamente. La barra de meandro de la margen derecha se mantiene adherida, tiene escasa vegetación madura colonizándola que se concentra en la zona; en el sector sureste se observa una isla sin vegetación de pequeño tamaño. Las barras de meandro y la isla tienen una superficie total de 173576.18 m² (Fig. 35), una anchura máxima de 260.9 m, ambos parámetros registran sus valores máximos; y una longitud máxima 758.20 m (Fig. 36). En la ortofotografía PNOA 2009 se producen grandes cambios: el inicio de la barra de meandro de la margen izquierda sufre un intenso proceso de erosión, la barra de meandro de la margen derecha se desgaja prácticamente en su totalidad dando lugar a una isla de menor tamaño y la vegetación pionera prolifera en las antiguas entradas de sedimentos. La superficie total disminuye ligeramente a 161456.68 m² (-6.99%), la longitud máxima a 747.15 m (-1.46%) y la anchura máxima a 96.85 m (-3.15%); los tres parámetros registran sus valores mínimos y experimentan el mayor decrecimiento a lo largo del periodo estudiado. En la ortofotografía PNOA 2015 la isla originada al sur se desarrolla considerablemente en su eje longitudinal y trasversal, además, la vegetación pionera comienza a proliferar en la orilla y el sector central. La superficie aumenta ligeramente a 163488.54 m² (+1.25%), la longitud máxima a 785.27 (+5.1%), registrando su valor máximo; y la anchura máxima a 260.24 m (+2.98%); al contrario de lo que ocurría en el periodo anterior los tres parámetros experimentan su mayor crecimiento a lo largo del periodo estudiado. En la ortofotografía PNOA 2018 la proliferación de la vegetación pionera en la isla sigue en aumento, la separación que existía en la barra de meandro de la margen izquierda se colmata y la sedimentación da lugar a dos pequeñas zonas sin vegetación en el extremo aguas abajo. La superficie total disminuye ligeramente a 163214.21 m² (-0.17%), la longitud máxima a 779 m (-0.8%) y la anchura máxima a 257.69 m (-0.98%).

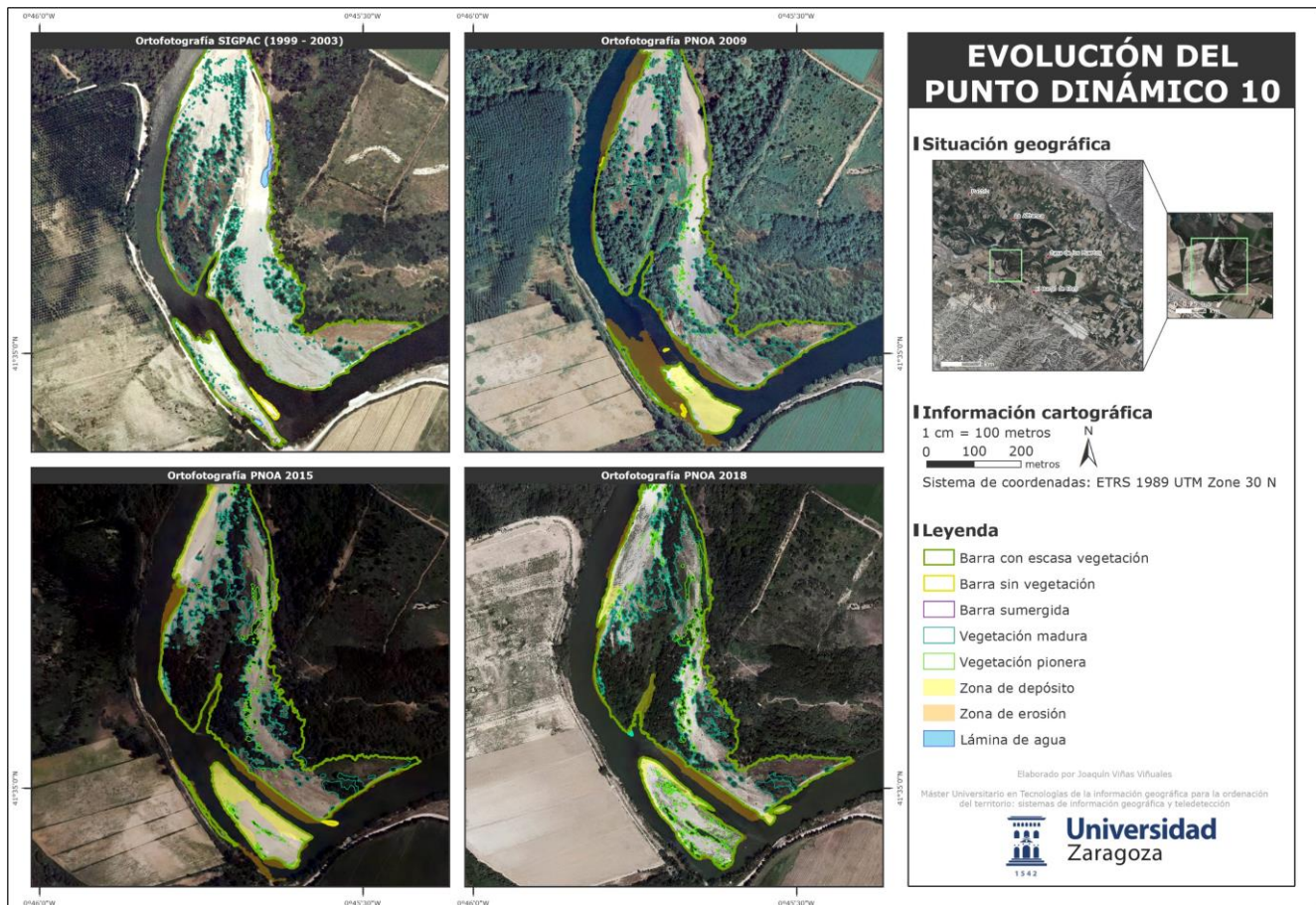


Figura 34. Cartografía diacrónica que muestra la evolución del punto dinámico 10 para cada periodo. Elaboración propia.

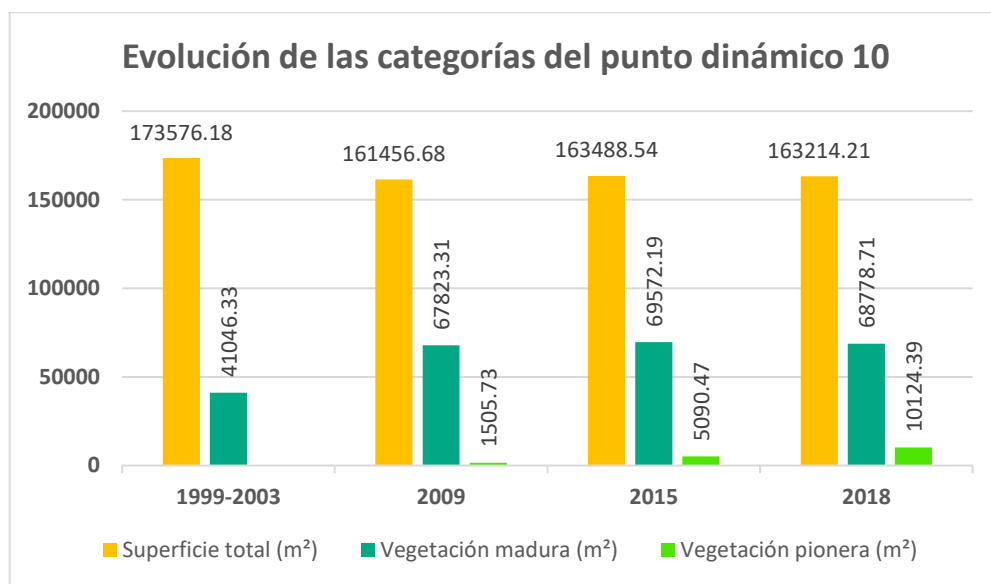


Figura 35. Histograma de la evolución de la superficie de las categorías (en m²) del punto dinámico 10 (total, vegetación madura y vegetación pionera) para cada año estudiado.

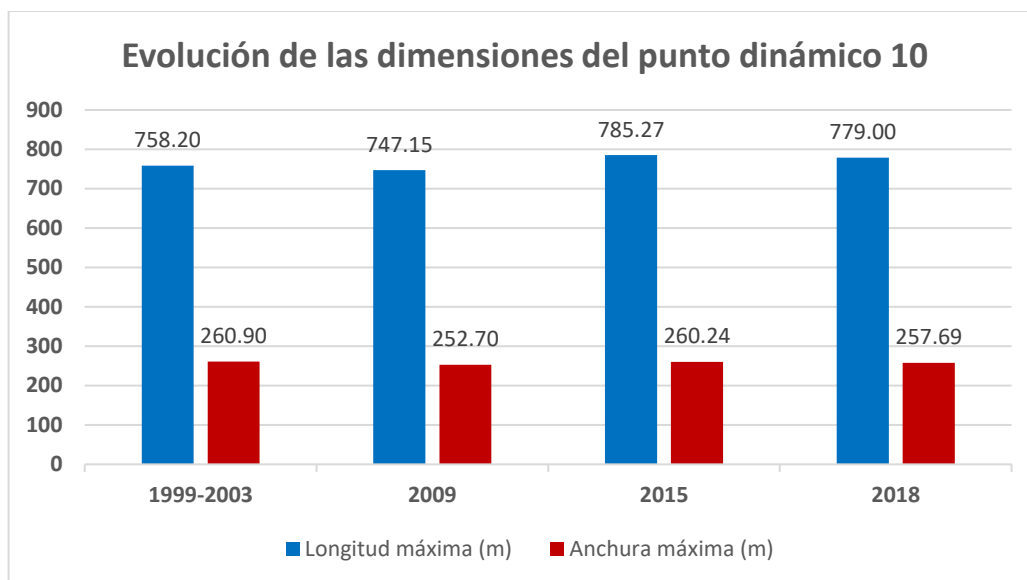


Figura 36. Histograma de la evolución de las dimensiones (en m) del punto dinámico 10 (longitud máxima y anchura máxima) para cada año estudiado.

El **punto dinámico 11** (Fig. 37) está constituido por la barra de meandro situada al norte de la localidad de El Burgo de Ebro, destaca por su elevado crecimiento a lo largo de los tres periodos y la preservación de la isla del noroeste a pesar de sufrir intensos procesos de erosión. Este punto está caracterizado por experimentar un drástico crecimiento a lo largo del periodo estudiado en el que la superficie total aumenta 25713.04 m^2 (+82.89%), la longitud máxima aumenta 155.72 m (+37.06%) y la anchura máxima 64.4 m (+68.64). En la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) la barra de meandro no tiene vegetación, sin embargo, se observan dos islas de pequeño tamaño con abundante vegetación madura al noreste y noroeste, aguas abajo. La barra de meandro y las islas tienen una superficie total de 31020.38 m^2 (Fig. 38), una longitud máxima de 420.16 m y una anchura máxima de 93.82 m (Fig. 39); los tres parámetros registran sus valores mínimos. En la ortofotografía PNOA 2009 la barra de meandro presenta un elevado desarrollo longitudinal en el que la isla del noreste se incluye en la propia barra. La vegetación pionera comienza a proliferar en el sector central de la barra de meandro. La superficie total aumenta drásticamente a 53355.21 m^2 (+72%), la longitud máxima a 563.67 m (+34.16%) y la anchura máxima a 154.55 m (+64.73%); los tres parámetros experimentan el mayor crecimiento a lo largo del periodo estudiado. En la ortografía PNOA 2015 la sedimentación se concentra en el norte y el extremo sureste de la barra de meandro, además, la vegetación pionera comienza a colonizar de manera importante el inicio de la barra, más antiguo. Al mismo tiempo la isla noroeste se erosiona notablemente en su sector inicial. La superficie total aumenta ligeramente a 53850.71 (+0.93%), la anchura máxima a 163.05 m (+5.5%), registrando su valor máximo, por el contrario, la longitud máxima disminuye ligeramente a 558.65 m (-0.89%). En la ortofotografía PNOA 2018 la sedimentación se concentra en el inicio de la barra de meandro mientras que los procesos de erosión lo hacen en la isla noroeste. La superficie total aumenta ligeramente a 56733.42 m^2 (+5.35%), la longitud máxima a 575.88 m (+3.08%), registrando sus valores máximos; sin embargo, la anchura máxima disminuye ligeramente a 158.22 m (-2.96%) experimentando su mayor decrecimiento a lo largo de todo el periodo estudiado.

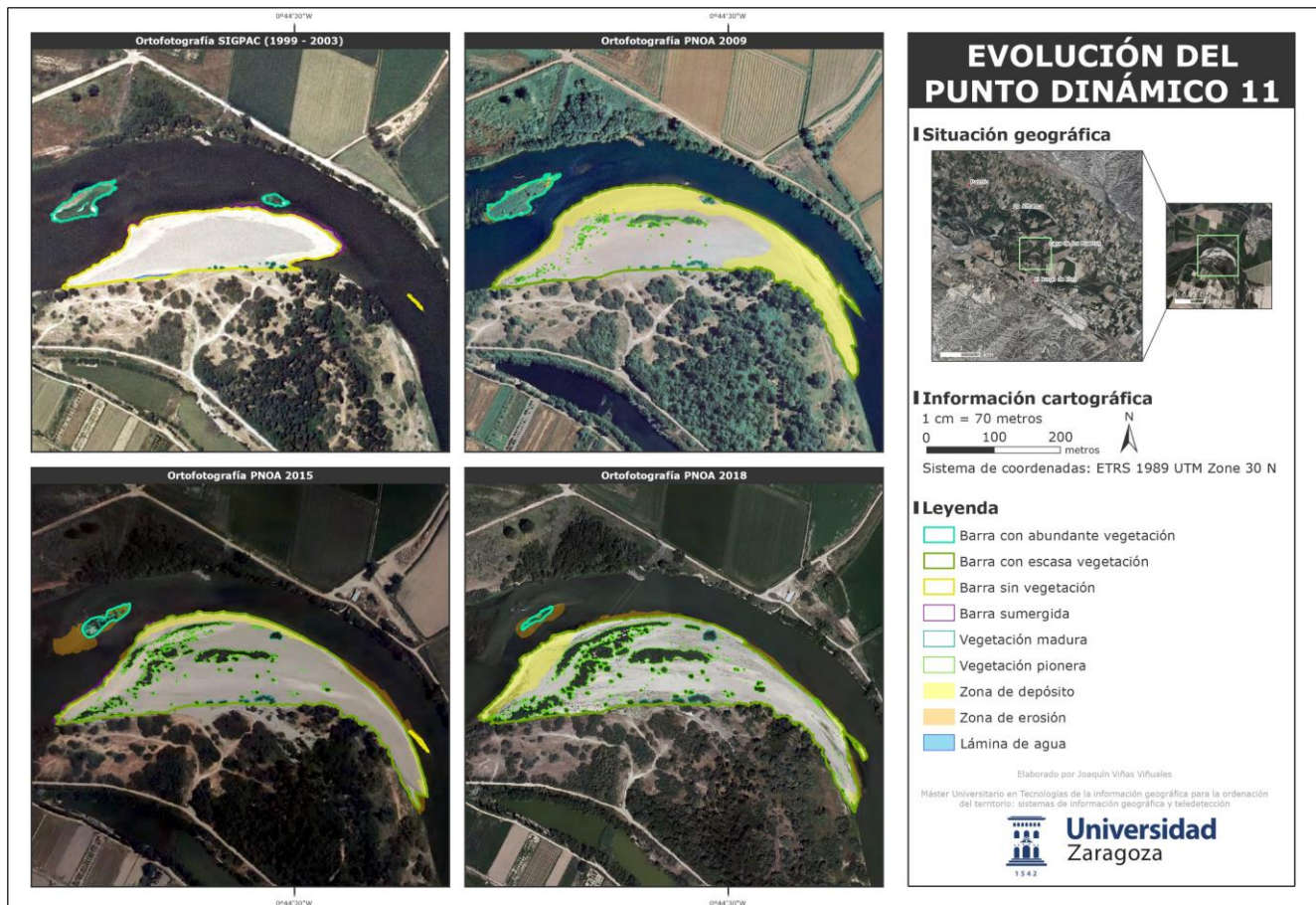


Figura 37. Cartografía diacrónica que muestra la evolución del punto dinámico 11 para cada periodo. Elaboración propia.

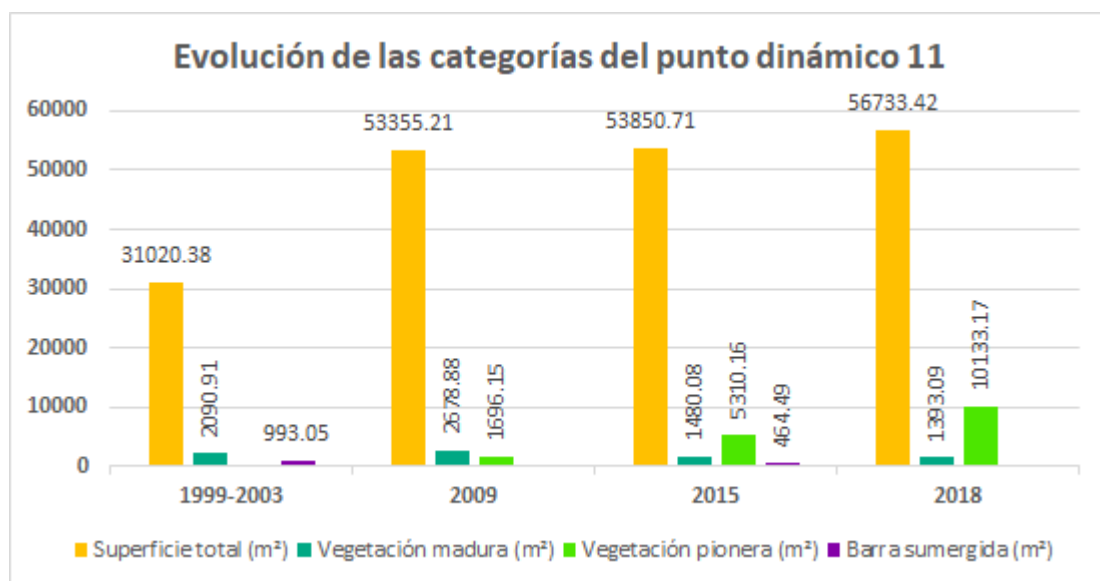


Figura 38. Histograma de la evolución de la superficie de las categorías (en m²) del punto dinámico 11 (total, vegetación madura, vegetación pionera y barra sumergida) para cada año estudiado.

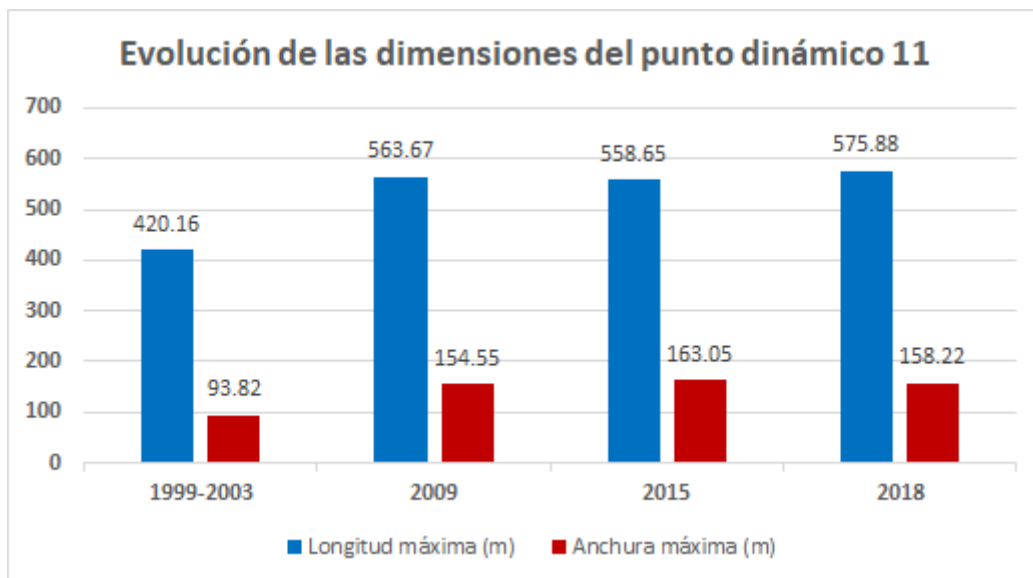


Figura 39. Histograma de la evolución de las dimensiones (en m) del punto dinámico 11 (longitud máxima y anchura máxima) para cada año estudiado.

El **punto dinámico 12** (Fig. 40) está constituido por las islas del soto de Quinto situadas al este de la localidad de El Burgo de Ebro, destaca por elevado desarrollo longitudinal de la isla central y la unión de la isla noroeste con la margen izquierda del río Ebro. Este punto está caracterizado por experimentar un drástico crecimiento a lo largo del periodo estudiado en el que la superficie total aumenta 42191.33 m² (+123.09%), la longitud máxima 292.98 m (+51.76%) y la anchura máxima 102.94 m (+57.51%), cabe destacar que en este punto dinámico nunca se experimenta un decrecimiento. En la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) se observan dos islas principales en el centro del cauce, la de menor tamaño esta abundantemente colonizada por la vegetación madura y se sitúa al noreste, muy próxima a la margen izquierda del río, la de mayor tamaño está escasamente colonizada y se sitúa en el centro. También se encuentra un grupo de islas sin vegetación de menor dimensión al suroeste. Las islas tienen una superficie total de 34276.15 m² (Fig. 41), una longitud máxima de 566.07 m y una anchura máxima de 179 m (Fig. 42); los tres parámetros registran sus valores mínimos. En la ortofotografía PNOA 2009 la isla del noroeste se une a la margen izquierda del río, la isla central experimenta un gran desarrollo en su eje longitudinal y la vegetación madura coloniza prácticamente todo el sector antiguo ya estabilizado. La superficie total aumenta drásticamente a 56365.63 m² (+64.44%), la longitud aumenta a 822.32 m (+45.26%), ambos parámetros experimentan su mayor crecimiento a lo largo del periodo estudiado, y la anchura máxima aumenta ligeramente a 194.09 m (+8.43%). En la ortofotografía PNOA 2015 la isla noroeste adherida a la margen izquierda del río Ebro se estabiliza no sufre cambios importantes, sin embargo, la isla central se intensifica la sedimentación provocando que la isla se aproxime notablemente a la margen derecha del río hacia situada al sur. La superficie total aumenta notablemente a 71853.84 m² (+27.48%), la longitud máxima aumenta ligeramente a 856.86 m (+4.2%) y la anchura máxima aumenta drásticamente a 274.64 m (+41.5%), experimentando el mayor crecimiento a lo largo del periodo estudiado. En la ortofotografía PNOA 2018 la isla central está prácticamente estabilizada, se produce la sedimentación en su sector suroeste y la vegetación pionera continúa proliferando nuevos sectores. La superficie total aumenta a 76467.48 m² (+6.42%), la longitud máxima aumenta ligeramente a 859.05 m (+0.25%) y la anchura máxima aumenta a 281.94 m (+2.65%); los tres parámetros registran sus valores máximos, pero, por el contrario, experimentan el menor crecimiento a lo largo del periodo estudiado.

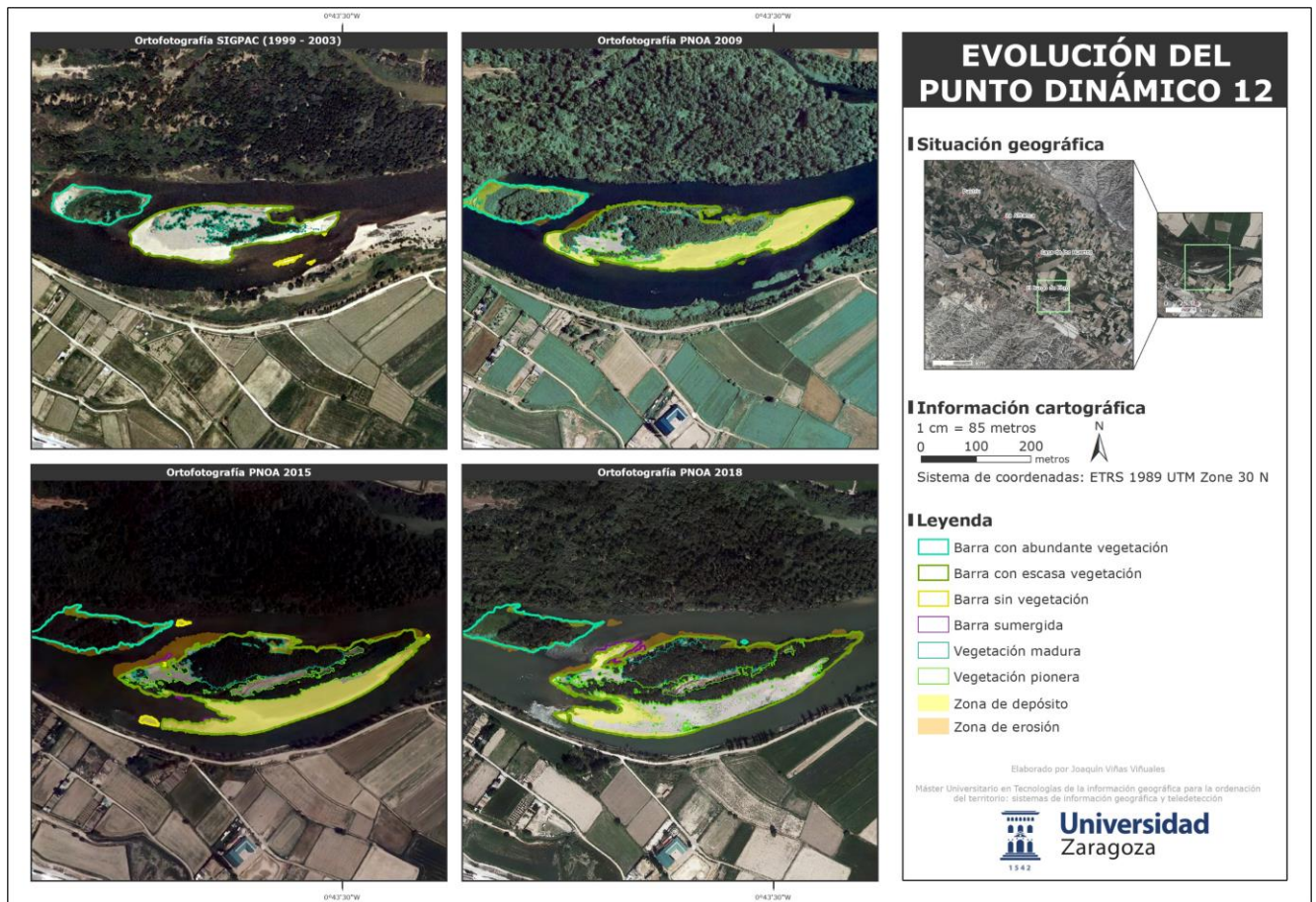


Figura 40. Cartografía diacrónica que muestra la evolución del punto dinámico 12 para cada periodo. Elaboración propia.

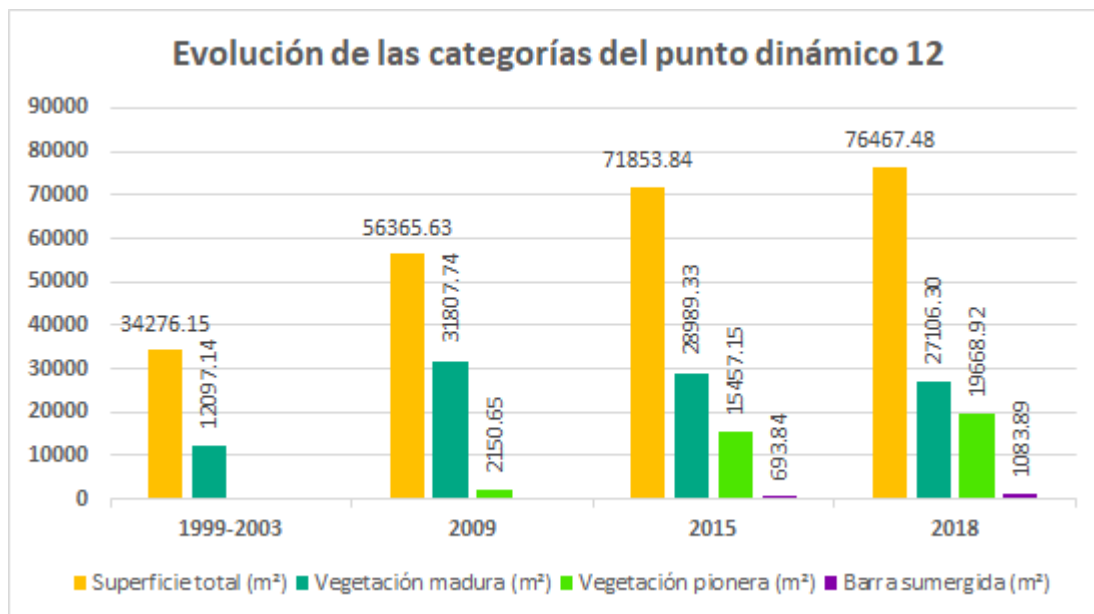


Figura 41. Histograma de la evolución de la superficie de las categorías (en m²) del punto dinámico 12 (total, vegetación madura, vegetación pionera y barra sumergida) para cada año estudiado.

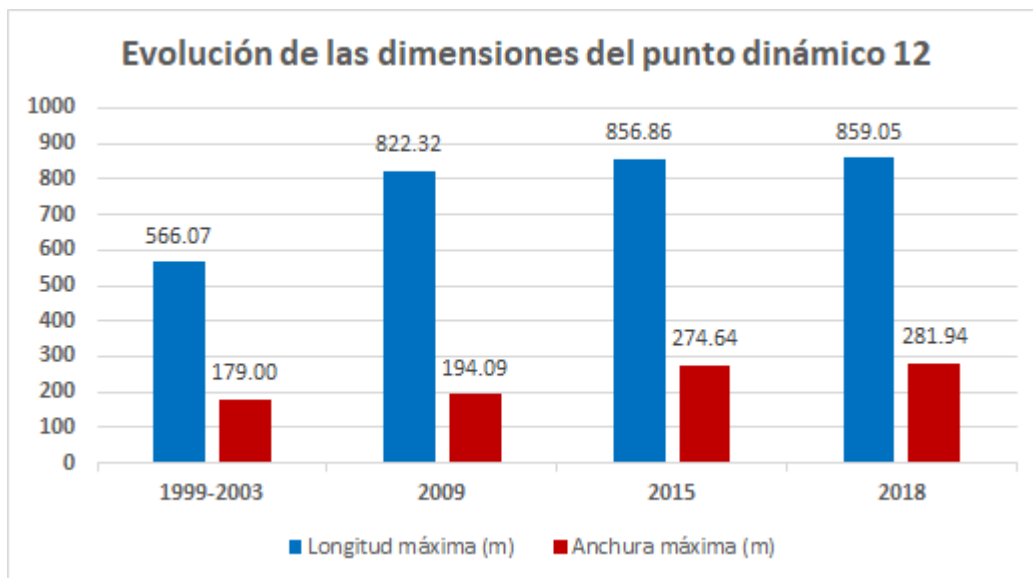


Figura 42. Histograma de la evolución de las dimensiones (en m) del punto dinámico 12 (longitud máxima y anchura máxima) para cada año estudiado.

El **punto dinámico 13** (Fig. 43) está constituido por las barras-islas laterales situadas al noreste de la urbanización Virgen de la Columna, destaca por el avance aguas abajo de la barra de meandro situada al sur de las islas del soto de Quinto hasta casi unirse con la barra de meandro con abundante vegetación situada en la misma margen del río Ebro en la que se enfoca este punto dinámico. Este punto está caracterizado por experimentar un decrecimiento moderado a lo largo del periodo estudiado en el que la superficie total disminuye 5368.56 m^2 (-5.33%), la longitud máxima disminuye 80 m (-5.75%) y la anchura máxima disminuye 88.2 m (-25.9%). En la ortofotografía SIGPAC (1999-2003) la barra de meandro central está muy colonizada y estabilizada, al sur se sitúa una isla con abundante vegetación madura que está separada de la barra de meandro. Las barras de meandro y la isla tienen una superficie total de 100742.24 m^2 (Fig. 44), la longitud máxima de 1390.89 m y una anchura máxima de 340.50 m (Fig. 45), registrando su valor máximo. En la ortofotografía PNOA 2009 la barra de meandro del noroeste comienza a desplazarse aguas abajo, sin embargo, la barra de meandro de la margen derecha y la isla están estabilizadas. La superficie total aumenta ligeramente a hasta 105656.72 m^2 (+4.88%), la longitud máxima aumenta moderadamente a 1619.25 (+16.42%), ambos parámetros registran sus valores máximos y experimentan el mayor crecimiento a lo largo del periodo estudiado; por el contrario, la anchura máxima disminuye notablemente a 254.91 m (-25.14%), experimentando el mayor decrecimiento. En la ortofotografía PNOA 2015 la isla del sureste se une a la barra de meandro de la margen derecha, la barra de meandro del noroeste se desplaza drásticamente hasta casi alcanzar a la barra de meandro de la margen derecha. La superficie disminuye ligeramente a 97491.15 m^2 (-7.73%), la longitud máxima disminuye moderadamente a 1356.96 m (-16.20%), ambos parámetros experimentan el mayor decrecimiento a lo largo del periodo estudiado, y la anchura máxima disminuye ligeramente a 243.81 m (-4.35%), registrando su valor mínimo. En la ortofotografía 2018 sigue disminuyendo ligeramente la superficie total hasta 95373.69 registrando su valor mínimo junto con la longitud máxima 1310.89 m y la anchura máxima hasta 252.30 m (-3.4%) que experimenta su mayor crecimiento a lo largo del periodo estudiado.

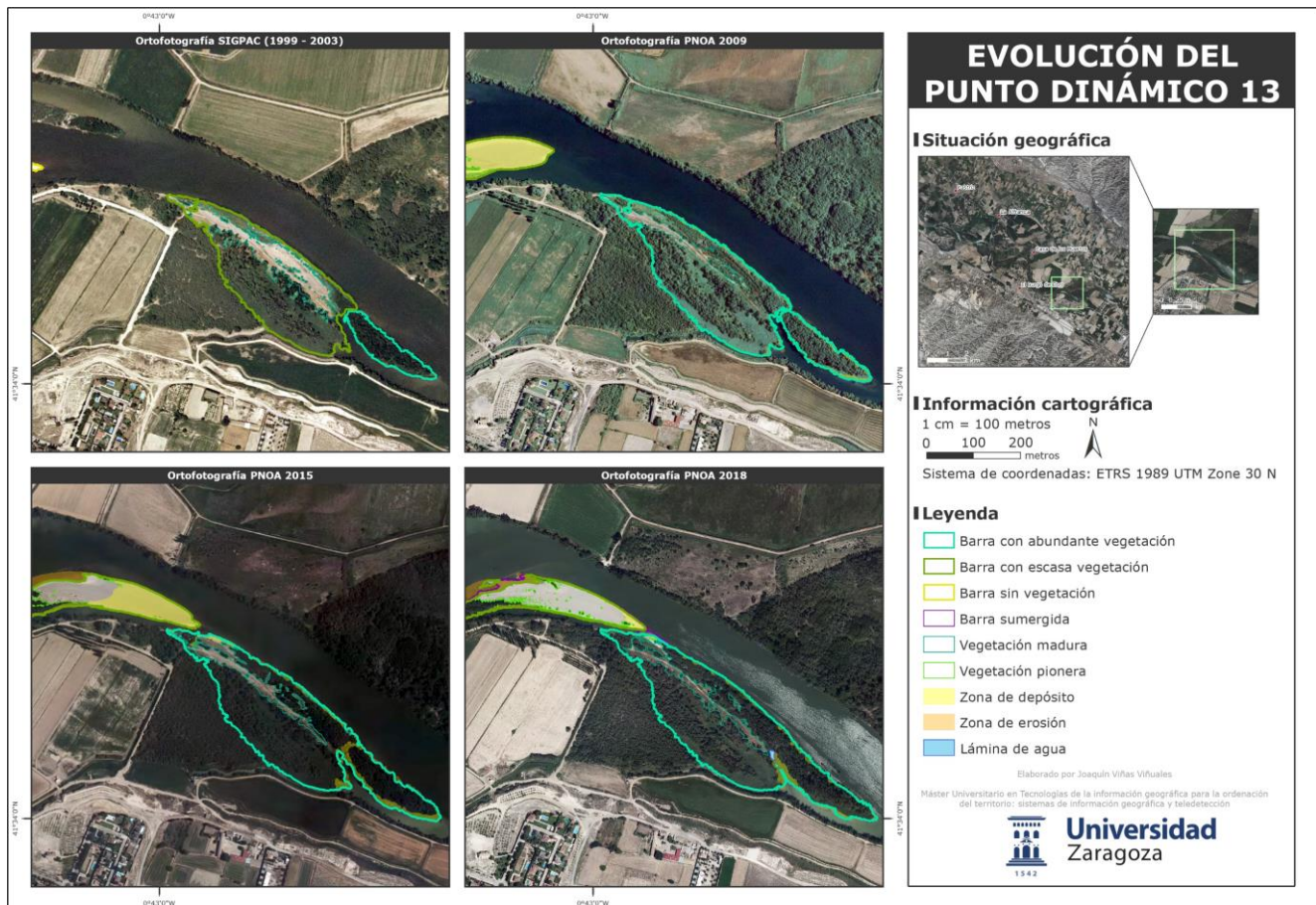


Figura 43. Cartografía diacrónica que muestra la evolución del punto dinámico 13 para cada periodo. Elaboración propia.

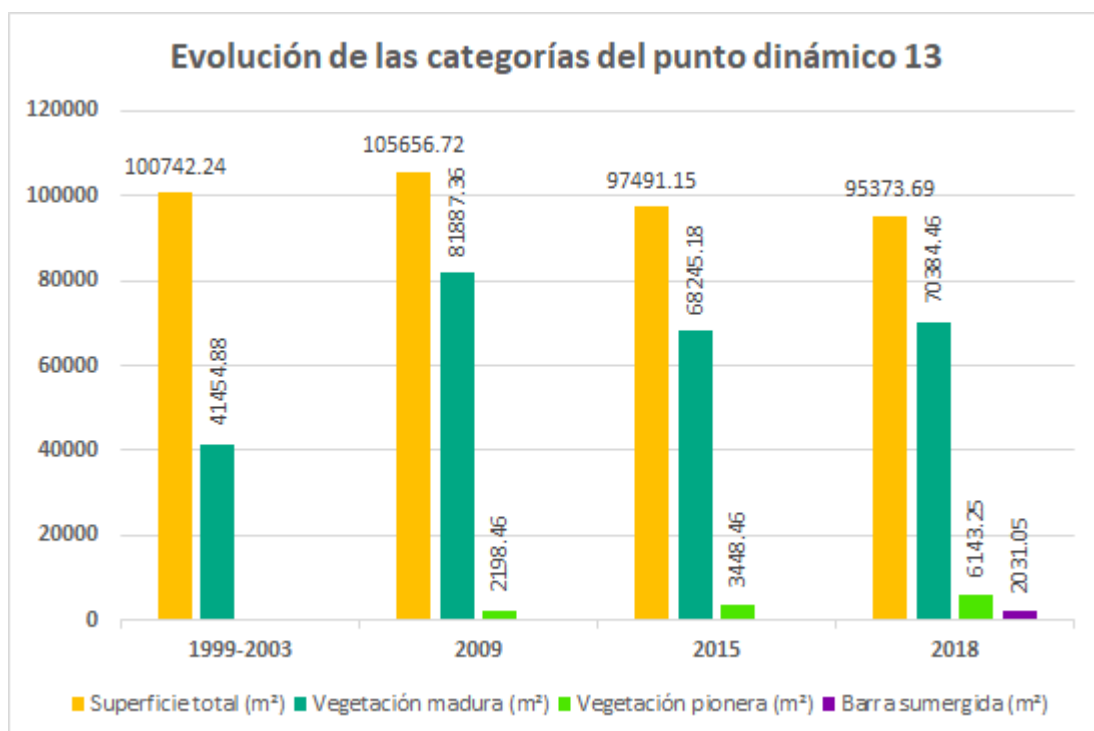


Figura 44. Histograma de la evolución de la superficie de las categorías (en m²) del punto dinámico 13 (total, vegetación madura, vegetación pionera y barra sumergida) para cada año estudiado.

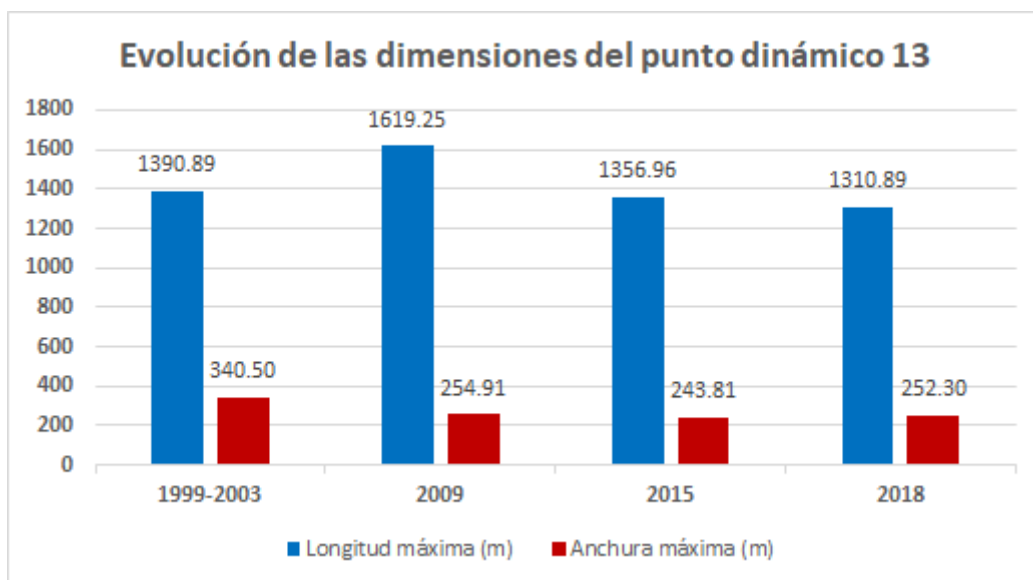


Figura 45. Histograma de la evolución de las dimensiones (en m) del punto dinámico 13 (longitud máxima y anchura máxima) para cada año estudiado.

Los resultados obtenidos de la superficie total, longitud máxima y anchura máxima de los trece puntos dinámicos para cada ortofotografía se han recogido en la Tabla 4. En más de la mitad de los puntos dinámicos (1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12) se observa una tendencia general en la que la superficie total aumenta a lo largo de todo el periodo estudiado y, en algunos casos, registra sus máximos en las ortofotografías de los años 2015 y 2018, normalmente acompañado del valor máximo de longitud y anchura máximas.

Tabla 4. Datos de la superficie total, longitud máxima y anchura máxima de cada punto dinámico para cada ortofotografía. Coloreados en verde aparecen los valores que han aumentado respecto al año anterior, en rojo los que han decrecido.

Punto dinámico	Año	Superficie total (m ²)	Longitud máxima (m)	Anchura máxima (m)
1	1999-2003	-	-	-
	2009	1730.13	78.08	43.10
	2015	5629.30	137.92	57.68
	2018	7793.92	191.16	28.27
2	1999-2003	21496.48	436.68	115.19
	2009	18535.14	545.48	126.14
	2015	14065.16	380.67	71.64
	2018	24619.30	621.20	137.51
3	1999-2003	58320.41	706.57	115.50
	2009	18763.81	333.21	90.54
	2015	35688.35	578.26	94.71
	2018	47249.58	662.79	92.35
4	1999-2003	43766.75	535.92	130.84
	2009	41627.30	520.90	116.05
	2015	44590.18	526.58	124.08
	2018	46836.82	527.40	135.15
5	2018	30713.02	-	-
6	1999-2003	94650.74	762.53	233.97
	2009	93163.84	800.79	242.96
	2015	89709.09	803.82	257.90
	2018	89453.56	804.73	260.70
7	1999-2003	268114.04	489.18	405.13
	2009	267371.00	514.20	419.00
	2015	261193.18	525.62	416.41
	2018	266629.03	536.36	424.36
8	1999-2003	50847.86	456.37	137.44
	2009	58446.18	463.64	132.81
	2015	61694.06	486.70	173.90

	2018	60503.09	485.95	179.16
9	1999-2003	29827.99	250.15	58.62
	2009	38255.18	362.48	91.74
	2015	41748.60	522.65	77.83
	2018	45799.75	525.92	84.65
10	1999-2003	173576.18	758.20	260.90
	2009	161456.68	747.15	252.70
	2015	163488.54	785.27	260.24
	2018	163214.21	779.00	257.69
11	1999-2003	31020.38	420.16	93.82
	2009	53355.21	563.67	154.55
	2015	53850.71	558.65	163.05
	2018	56733.42	575.88	158.22
12	1999-2003	34276.15	566.07	179.00
	2009	56365.63	822.32	194.09
	2015	71853.84	856.86	274.64
	2018	76467.48	859.05	281.94
13	1999-2003	100742.24	1390.89	340.50
	2009	105656.72	1619.25	254.91
	2015	97491.15	1356.96	243.81
	2018	95373.69	1310.89	252.30

3.1.2. Mediciones de desplazamiento

La distancia de desplazamiento de los trece puntos dinámicos se ha recogido en la Tabla 5 para los tres periodos estudiados (de 1999-2003 a 2009, de 2009 a 2015 y de 2015 a 2018) y se expresa en metros. En algunos de los puntos dinámicos en el que las islas cobran especial importancia se ha recogido la distancia que experimenta el centroide de dicha isla. En general se observa una tendencia en la que los mayores desplazamientos y movimientos de los centroides se producen en el primer y segundo periodo.

Además, se han recogido en la Tabla 6 los datos de la distancia, en metros, de la isla a la margen derecha e izquierda de las islas para cada ortofotografía.

Tabla 5. Datos del desplazamiento y el movimiento del centroide de la isla, en caso de existir, de cada punto dinámico por periodo estudiado.

Punto dinámico	Periodo	Desplazamiento (m)	Movimiento del centroide de la isla (m)
1	1999-2003 a 2009	-	-
	2009 a 2015	57.18	30.27
	2015 a 2018	71.35	52.36
2	1999-2003 a 2009	155.87	-13.78
	2009 a 2015	-155.61	49.32
	2015 a 2018	209.65	-26.01
3	1999-2003 a 2009	-326.55	-223.14
	2009 a 2015	446.63	356.16
	2015 a 2018	-14.02	40.61
4	1999-2003 a 2009	-14	-
	2009 a 2015	5.12	-
	2015 a 2018	1.36	-
6	1999-2003 a 2009	9.1	-
	2009 a 2015	9.44	-
	2015 a 2018	-8.41	-
7	1999-2003 a 2009	27.5	-
	2009 a 2015	-3.58	-
	2015 a 2018	-2.89	-
8	1999-2003 a 2009	122.13	8.56
	2009 a 2015	29.29	25.01
	2015 a 2018	15.84	3.54
9	1999-2003 a 2009	118.38	-
	2009 a 2015	150.89	-

	2015 a 2018	15.7	-
10	1999-2003 a 2009	62.85	104.13
	2009 a 2015	18.5	37.67
	2015 a 2018	-8.25	12.78
11	1999-2003 a 2009	234.01	7.85
	2009 a 2015	-9.26	33.91
	2015 a 2018	7.44	4.67
12	1999-2003 a 2009	152.2	72.82
	2009 a 2015	14.73	36.04
	2015 a 2018	9.88	-14.09
13	1999-2003 a 2009	171.37	-
	2009 a 2015	190.7	-
	2015 a 2018	27.26	-

Tabla 6. Datos de distancia de la isla a las márgenes del río Ebro de cada punto dinámico en el que exista una isla por año estudiado.

Punto dinámico	Año	Distancia de la isla a la margen derecha (m)	Distancia de la isla a la margen izquierda (m)
1	1999-2003	-	-
	2009	70.55	25.16
	2015	32.46	40.79
	2018	44.81	23.82
2	1999-2003	23.14	13.66
	2009	20.85	45.05
	2015	31.61	48.74
	2018	38.87	31.55
3	1999-2003	51.67	-
	2009	30.25	18.16
	2015	28.27	23.15
	2018	30.02	30.34
8	1999-2003	27.44	27.52
	2009	29.4	32.68
	2015	5.43	27.58
	2018	11.05	26.35
10	1999-2003	-	41.57
	2009	6.45	33.3
	2015	17.09	34.03
	2018	14.23	35.77
11	1999-2003	53.64	52.48
	2009	39.92	37.53
	2015	35.75	37.45
	2018	28.15	40.98
12	1999-2003	50.73	38.62
	2009	36.37	36.2
	2015	21.75	38.18
	2018	20.73	42.08

3.2. Caracterización en campo

Se ha accedido a pie a la barra de meandro que se forma en la margen derecha de la desembocadura del río Gállego del punto dinámico 2. El aspecto de la barra ha cambiado drásticamente en comparación con lo que se observa en la imagen de satélite. Como se ha comentado anteriormente, este punto dinámico ha sufrido importantes acciones antrópicas evidentes recientemente como consecuencia del plan de actuación de la CHE (Fig. 46). Lo primero que llama la atención es que los materiales de la zona han sido intensamente removidos con maquinaria pesada ya que se observan grandes huellas de neumáticos en el terreno, dejando en la barra un aspecto artificial de gravera en el que se ha eliminado toda la vegetación de la superficie y la capa superior del suelo se ha perdido. La barra de meandro se ha fragmentado deliberadamente en dos creando un canal por el que circula el agua y deja separada una gran isla de gravas en la zona central. Cabe destacar que, repartidos por la superficie de esta gravera,

sobre todo en la zona sur, existe una gran cantidad de pequeños fragmentos de corteza y madera muerta, probablemente como consecuencia de la actuación.



Figura 46. Fotografía del aspecto de la barra de meandro del río Gállego. Se observan las huellas de neumáticos de la maquinaria pesada, los fragmentos de corteza acumulada y la isla de gravas central. Punto dinámico 2.

En la margen contraria, donde se sitúa el escarpe, se puede observar el aspecto más "natural y sin alterar" de la barra de meandro en la que se conserva la vegetación de ribera y se acumulan grandes restos de crecida como troncos (Fig. 47) y madera muerta.



Figura 47. Fotografía del aspecto de la orilla contraria. Se observa el aspecto más natural de la barra de meandro en el que destaca la vegetación abundante y la presencia de restos de crecida de grandes dimensiones.

Además, al igual que en la barra de meandro, en la isla que se forma en la confluencia con el río Ebro, que también forma parte del punto dinámico, se ha llevado a cabo el desbroce total de la vegetación tal y como se observa en la Figura 47 desde el Mirador del Gállego.



Figura 48. Fotografía del aspecto de la isla que originada en la confluencia del río Gállego con el río Ebro. Se observa cómo se ha eliminado toda la cubierta vegetal de la superficie.

En este punto dinámico se han registrado tres puntos de medición (Fig. 49) debido a las características de la zona. Los puntos de medición siguen una distribución lineal norte-sur que recorren toda la barra de meandro. Los puntos de medición 1 y 2 están situados al sur y en la zona central de la gravera por lo que sus parámetros son bastante homogéneos, la movilidad es alta debido a que se trata de material removido (Tabla 7), el acorazamiento es bajo (Fig. 50 y 51), la imbricación es nula y el tamaño de clasto tiene una media de 45.8 mm. Con el objetivo de obtener una medición con la menor alteración posible se avanzó hacia el norte, al inicio de la barra de meandro, a la orilla del río Gállego donde aparentemente no se han realizado actuaciones. En esta ubicación se registró el punto de medición 3 donde el valor de los parámetros y las mediciones cambian totalmente: el grado de movilidad, la imbricación y el acorazamiento son medios (Fig. 52) y el tamaño medio de los clastos desciende a 28.9 mm. Aunque existe una clara gradación en el que el tamaño de grano aumenta hacia la desembocadura no se puede tener en cuenta este valor debido a que las acciones antrópicas sobre este punto dinámico han alterado la distribución de los sedimentos. Se ha medido un centilo de 216 mm, registrando el segundo valor más bajo de todos los puntos dinámicos visitados.

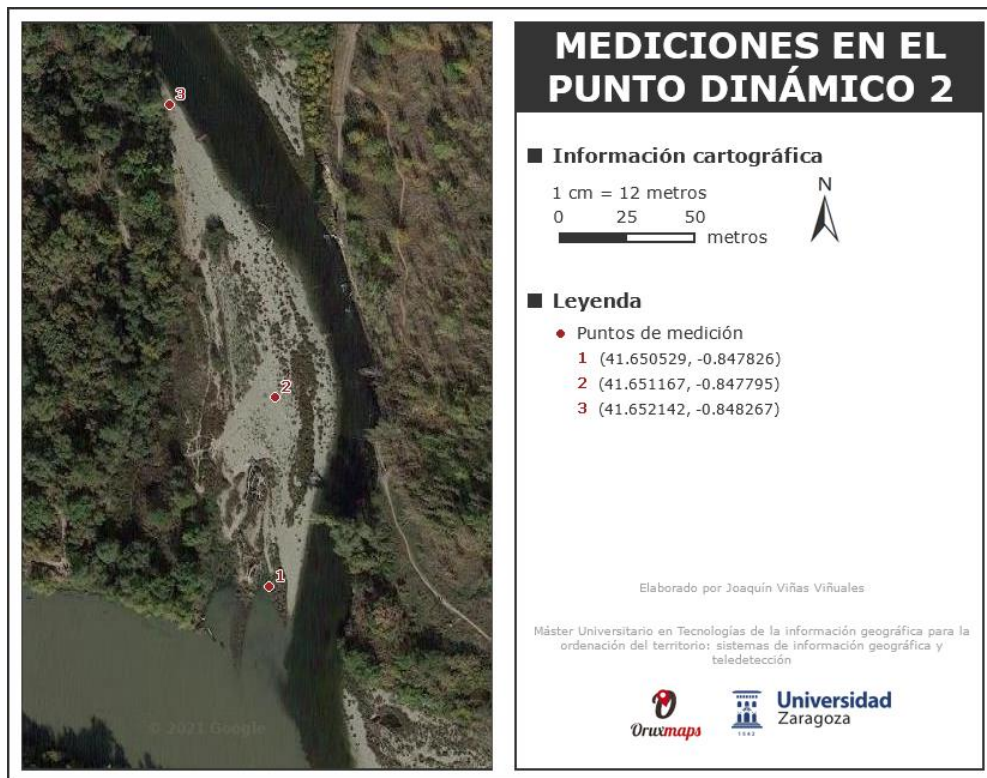


Figura 49. Mapa de localización de las mediciones realizadas en el punto dinámico 2. Las coordenadas de los puntos de medición se han registrado con la aplicación OruxMaps.

Tabla 7. Parámetros medidos en cada uno de los puntos de medición del punto dinámico 2.

Punto de medición	Mediciones visuales		Mediciones instrumentales	
1	Grado de movilidad	Alto	Media (mm)	44.8
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Bajo
2	Grado de movilidad	Alto	Media (mm)	46.9
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Bajo
3	Grado de movilidad	Medio	Media (mm)	28.9
	Imbricación	Media	Acorazamiento	Medio
	Restos de crecida	Sí	Centilo (mm)	216
	Acciones antrópicas	Sí		



Figura 50. Fotografía del acorageamiento del punto de medición 1 en el punto dinámico 2.



Figura 51. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 2 en el punto dinámico 2.



Figura 52. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 3 en el punto dinámico 2.

Se ha accedido a la barra de meandro que se forma en la margen derecha del río Ebro y constituye el punto dinámico 4 (Fig. 53). En ella se han identificado dos ramales bien definidos que atraviesan la barra completamente a lo largo de su eje longitudinal con una dirección noroeste-sureste, tal y como se observa en la imagen de satélite. Estos ramales son el resultado de la aplicación de la técnica de *curage* (Fig. 54) por parte de la CHE y su objetivo es facilitar la movilización de los sedimentos en zonas que suponen obstrucciones importantes al paso de la corriente. Aunque la barra de meandro conserva una gran parte de su estado natural, al igual que en el punto dinámico anterior nos encontramos con acciones antrópicas que han podido modificar la distribución de los sedimentos y el estado de la vegetación en el interior de los ramales artificiales. Los restos de crecida, aunque escasos, están constituidos por grandes troncos de madera muerta son abundante y se reparten por el terreno, concentrándose, sobre todo, en el inicio de la barra de meandro, cerca del río Ebro. Cabe destacar, que los clastos de mayor tamaño también se concentran en esta zona, donde, además, se registra el centilo de 265 mm (Tabla 8).



Figura 53. Fotografía del aspecto de la barra de meandro del punto dinámico 4. Se observa el aspecto natural de la cubierta vegetal.



Figura 54. Fotografía del aspecto de uno de los ramales de la técnica de *curage* en el sector inicial de la barra de meandro del punto dinámico 4. Se observan restos de crecida de grandes dimensiones enganchados en las ramas de la vegetación de la izquierda.

En este punto dinámico se han registrado cuatro puntos de medición (Fig. 55). Los puntos de medición siguen una distribución lineal noroeste-sureste que recorren toda la barra de meandro. Los puntos de medición 1, 2 y 3 comprenden el sector noroeste, central y suroeste de la barra y están situados en las zonas que no han sido alteradas directamente por la técnica del *curage*. Los parámetros y mediciones registradas son heterogéneas, sin embargo, se observa que, a medida que nos alejamos del sector inicial de la barra de meandro (punto dinámico 3) hacia el otro extremo (punto dinámico 2), el grado de movilidad refleja una tendencia a aumentar, el acorazamiento varía de medio a bajo y el tamaño medio de los clastos indica una gradación sedimentaria ya que disminuye más de un 50% (de 24.8 mm a 49.1 mm) (Fig. 56, 57 y 58). El punto de medición 4 se registró dentro de una de los ramales del

curage, en el tamaño medio de los clastos es superior al resto de puntos de medición con 53.3 m, el grado de movilidad es alto al tratarse de material removido y el acorazamiento es medio debido labrado superficial de los sedimentos (Fig. 59).



Figura 55. Mapa de localización de las mediciones realizadas en el punto dinámico 4.

Tabla 8. Parámetros medidos en cada uno de los puntos de medición del punto dinámico 4.

Punto de medición	Mediciones visuales		Mediciones instrumentales	
1	Grado de movilidad	Alto	Media (mm)	48
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Medio
2	Grado de movilidad	Medio-Alto	Media (mm)	49.1
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Medio-Bajo
3	Grado de movilidad	Medio	Media (mm)	24.8
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Bajo
4	Grado de movilidad	Alto	Media (mm)	53.3
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Medio
	Restos de crecida	Sí	Centilo (mm)	265
	Acciones antrópicas	Sí		



Figura 56. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 1 en el punto dinámico 4.



Figura 57. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 2 en el punto dinámico 4.



Figura 58. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 3 en el punto dinámico 4.



Figura 59. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 4 en el punto dinámico 4.

Se ha accedido a la barra de meandro que se forma en la margen derecha del río Ebro del punto dinámico 6, a unos 2.3 km aguas abajo del punto dinámico anterior. A diferencia de los anteriores, en este punto dinámico no existen evidencias de acciones antrópicas, por lo que la barra se encuentra en su estado natural en el que la vegetación más antigua y frondosa se localiza en norte cerca de la orilla formando una barrera natural; además, destaca la formación de una pequeña laguna en el sector inicial que se conserva en la actualidad (Fig. 60), muy próxima al cauce principal del río Ebro. Los restos de crecida son abundantes y están constituidos por troncos de madera de gran tamaño y se concentran tanto en el sureste de la barra de meandro (Fig. 61) como en la orilla contraria donde se observa una gran cantidad de restos de árboles muertos arrastrados por crecidas anteriores (Fig. 62).



Figura 60. Fotografía aspecto de la barra de meandro del punto dinámico 6. Se observa la pequeña laguna a la izquierda.



Figura 61. Fotografía de los restos de crecida en el punto dinámico 6.



Figura 62. Fotografía del aspecto de la orilla contraria. Se observa la presencia abundante de restos de crecida de grandes dimensiones.

En este punto dinámico se han registrado cinco puntos de medición (Fig. 63) debido a la extensión de la barra de meandro. Los parámetros y mediciones son heterogéneo. Los puntos de medición 1 y 5 se han situado en la orilla de la barra por lo que sus parámetros y mediciones son bastante similares: el grado de movilidad varía de alto a medio-alto, el acorazamiento es bajo y el tamaño medio de los clastos es de los más bajos registrados en este punto dinámico: 28.3 mm y 22.5 mm (Tabla 9), respectivamente. Cabe destacar que en inicio de la barra (punto dinámico 1) la imbricación es media. Los puntos de medición 2, 3 y 4 se sitúan en la zona interior de la barra (más antigua) en ellos el grado de movilidad asciende a medio y el acorazamiento (Fig. 64, 65, 66, 67 y 68) y el tamaño medio de los clastos es mayor en comparación con los puntos de medición de las orillas, siendo el punto de medición 4 más al suroeste y al interior de la barra el que registra el mayor tamaño medio de los clastos con 64.2 mm. El centilo medido es de 270 mm, 5 mm más que en el punto dinámico anterior.

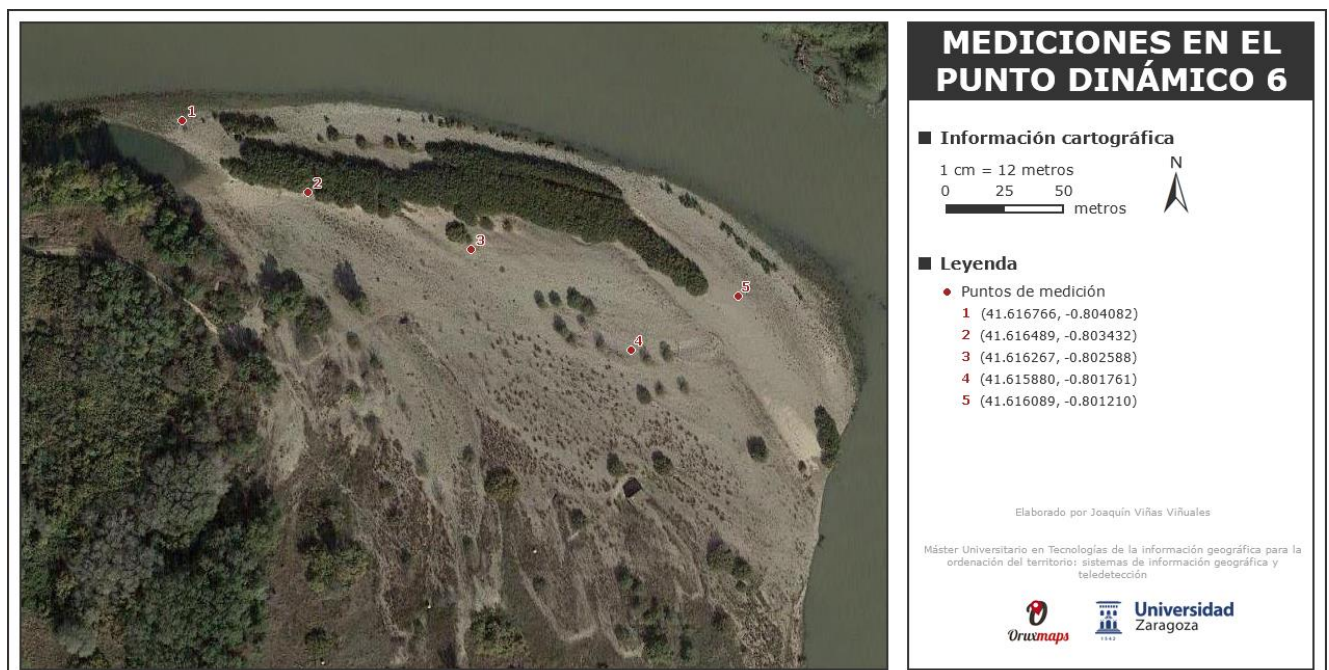


Figura 63. Mapa de localización de las mediciones realizadas en el punto dinámico 6.

Tabla 9. Parámetros medidos en cada uno de los puntos de medición del punto dinámico 6.

Punto de medición	Mediciones visuales		Mediciones instrumentales	
1	Grado de movilidad	Alto	Media (<i>mm</i>)	28.3
	Imbricación	Media	Acorazamiento	Bajo
2	Grado de movilidad	Medio-Bajo	Media (<i>mm</i>)	45.7
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Medio-Alto
3	Grado de movilidad	Medio	Media (<i>mm</i>)	33.9
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Medio-Bajo
4	Grado de movilidad	Alta	Media (<i>mm</i>)	64.2
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Bajo
5	Grado de movilidad	Medio-Alto	Media (<i>mm</i>)	22.5
	Imbricación	Bajo	Acorazamiento	Bajo
	Restos de crecida	Sí	Centilo (<i>mm</i>)	270
	Acciones antrópicas	No		



Figura 64. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 1 en el punto dinámico 6.

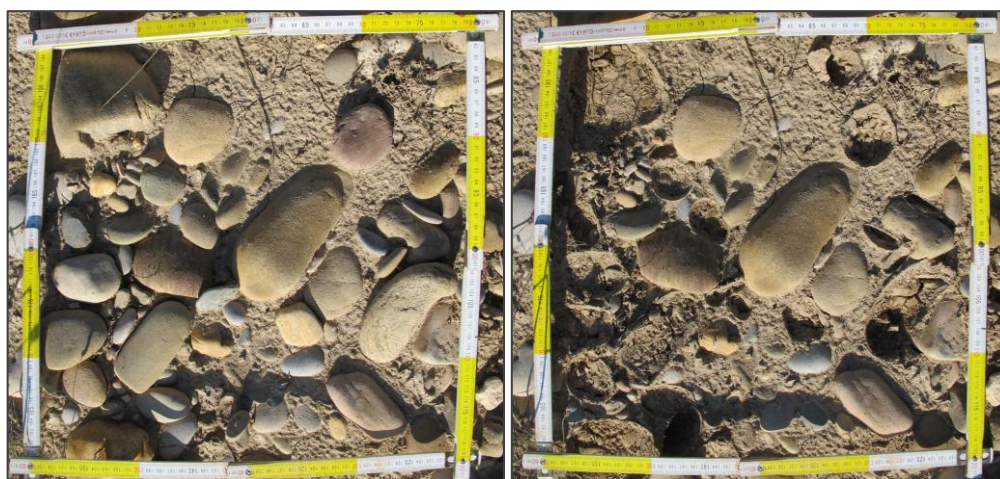


Figura 65. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 2 en el punto dinámico 4.



Figura 66. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 3 en el punto dinámico 6.



Figura 67. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 4 en el punto dinámico 6.



Figura 68. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 5 en el punto dinámico 6.

Se ha accedido a la barra de meandro que se forma en la margen izquierda del río Ebro en las inmediaciones de Pastriz del punto dinámico 7. Esta barra está situada en la orilla de enfrente del punto dinámico anterior, hacia el sureste. La vegetación en esta barra es muy abundante (Fig. 69) por lo que los puntos de medición se han centrado en la zona lingüiforme que corresponde mayoritariamente a la entrada de sedimentos de 2018. Respecto a las evidencias antrópicas, en la zona sur se ha identificado una acumulación de gravas que se observa desde la imagen de satélite con una característica forma circular y neumáticos incrustados en el sedimento circundante. Los restos de crecida son escasos, únicamente se ha observado uno en el sector inicial (Fig. 70), aunque se han observado troncos de grandes dimensiones en la orilla de enfrente, próximos a la desembocadura de la depuradora de La Cartuja (Fig. 71).



Figura 69. Fotografía aspecto de la barra de meandro del punto dinámico 7. Se observa una abundante vegetación.



Figura 70. Fotografía de los restos de crecida en el punto dinámico 7.



Figura 71. Fotografía del aspecto de la orilla contraria del punto dinámico 7. Se observa la presencia un gran tronco de madera muerta.

En este punto dinámico se han registrado cinco puntos de medición (Fig. 72) en el perímetro inicial más accesible de la entrada de sedimentos de la crecida de 2018. En los puntos dinámicos 1, 2 y 3 que están situados en dirección norte-sur, se registra una gradación sedimentaria en el tamaño medio de los clastos que disminuyen progresivamente de 45.4 mm a 42.3 mm y a 39.6 mm (Tabla 10) situándose el tamaño medio de los clastos más bajo en la zona distal, cabe destacar un acorazamiento que varía de medio (Fig. 73, 74 y 75) y la abundancia de yeso alabastrino en este sector. Los puntos de medición 4 y 5 están situados hacia el interior de la barra, donde se ha registrado el mayor centilo de todos los puntos dinámicos visitados, 390 mm. Además, el acorazamiento en estos puntos, a diferencia de los tres anteriores, es alto (Fig. 76 y 77) lo que indica que el flujo del agua ha circulado con mayor facilidad y la imbricación es media. En el punto de medición 4 se ha registrado el mayor tamaño medio de los clastos con 54.4 mm y el punto está situado muy próximo del límite del perímetro cartografiado de la crecida para la ortofotografía PNOA 2018.

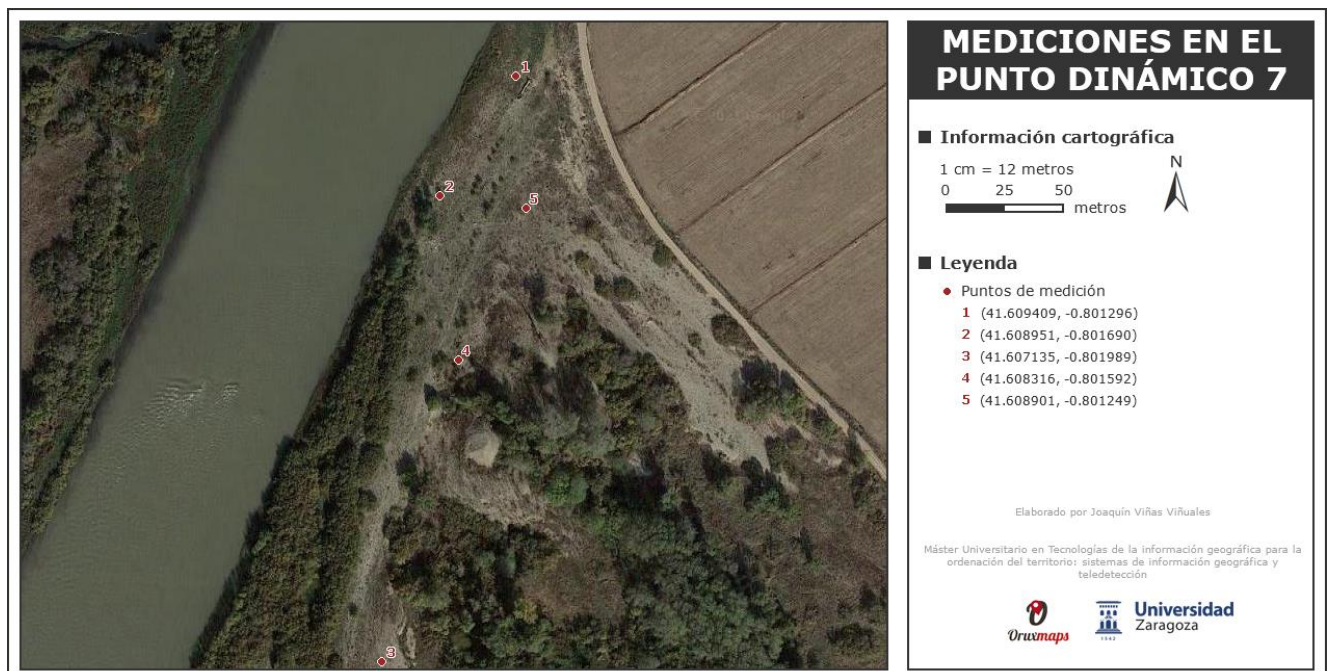


Figura 72. Mapa de localización de las mediciones realizadas en el punto dinámico 7.

Tabla 10. Parámetros medidos en cada uno de los puntos de medición del punto dinámico 7.

Punto de medición	Mediciones visuales		Mediciones instrumentales	
1	Grado de movilidad	Alto	Media (<i>mm</i>)	45.4
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Medio
2	Grado de movilidad	Medio	Media (<i>mm</i>)	42.3
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Medio-Alto
3	Grado de movilidad	Alta	Media (<i>mm</i>)	29.6
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Medio
4	Grado de movilidad	Medio	Media (<i>mm</i>)	54.4
	Imbricación	Media	Acorazamiento	Alto
5	Grado de movilidad	Medio	Media (<i>mm</i>)	32.8
	Imbricación	Media	Acorazamiento	Alto
	Restos de crecida	Sí	Centilo (<i>mm</i>)	390
	Acciones antrópicas	Sí		



Figura 73. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 1 en el punto dinámico 7.



Figura 74. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 2 en el punto dinámico 7.



Figura 75. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 3 en el punto dinámico 7.



Figura 76. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 4 en el punto dinámico 7.



Figura 77. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 5 en el punto dinámico 7.

Finalmente, se ha accedido al inicio de barra de meandro del punto dinámico 11 que se forma en la margen izquierda del río Ebro al norte del Burgo de Ebro. Esta barra es la más alejada de Zaragoza que se ha visitado y, aunque en la barra no existen evidencias antrópicas, se sabe que la CHE ha construido una mota defensiva al sur, fuera de la zona que comprende la imagen de satélite, cerca de la localidad. Al igual que en la barra de meandro anterior, en ésta también abunda la vegetación, que se ha desarrollado mayoritariamente en el sector inicial y en la orilla norte. Los restos de crecida únicamente se han encontrado en este sector inicial, son de gran tamaño y se quedan encajados en la vegetación (Fig. 78).



Figura 78. Fotografía de los restos de crecida de grandes dimensiones encajados en la vegetación en el punto dinámico 11.

En este punto dinámico se han registrado tres puntos de medición (Fig. 79) debido a la homogeneidad y gran cantidad de cubierta vegetal de la zona. Los puntos de medición siguen una distribución triangular en sentido oeste-este. Los puntos de medición 1 y 2 están situados en la zona de inicio de la barra de meandro que es la constituyente mayoritaria del punto dinámico y el punto de medición 3 se sitúa al este, en interior de la barra. Los parámetros y mediciones son bastante homogéneos, el tamaño medio de los clastos sigue una gradación sedimentaria aumentando progresivamente hacia el noreste (de 24.5 mm a 31.5 mm y a 33.6 mm) y también lo hace el grado de movilidad que es más alto conforme nos acercamos al interior (Tabla 11). Cabe destacar que en el punto de medición 1, el más cercano al cauce del río Ebro, tiene una imbricación mayor y es donde se encuentran los acorazamientos más altos junto con el punto de medición 2 (Fig 80, 81 y 82). En este punto se ha registrado el centilo más bajo de todos los puntos dinámicos visitados con 165 mm, esto podría ser indicativo de indica una pérdida de capacidad de transporte del flujo en este sector al no ser capaz de movilizar clastos de mayor tamaño.

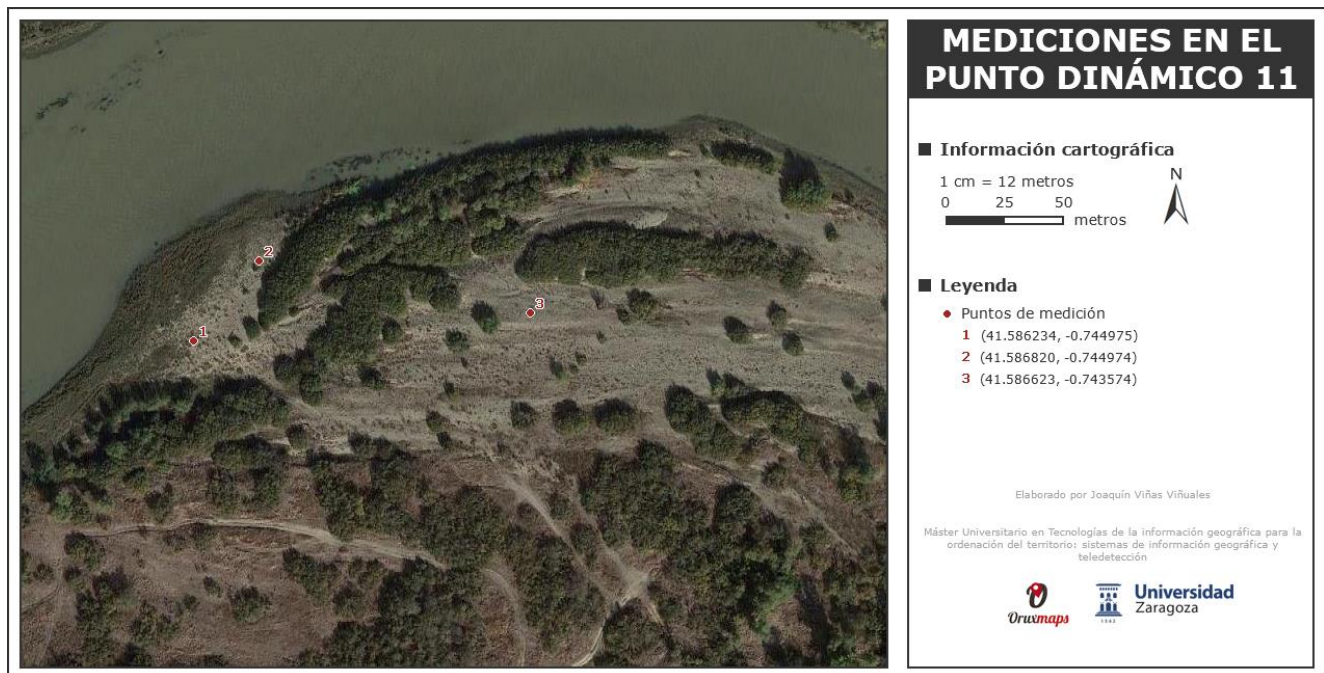


Figura 79. Mapa de localización de las mediciones realizadas en el punto dinámico 11.

Tabla 11. Parámetros medidos en cada uno de los puntos de medición del punto dinámico 11.

Punto de medición	Mediciones visuales		Mediciones instrumentales	
1	Grado de movilidad	Medio-Bajo	Media (<i>mm</i>)	24.5
	Imbricación	Baja-Media	Acorazamiento	Medio-Alto
2	Grado de movilidad	Medio	Media (<i>mm</i>)	31.5
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Medio-Alto
3	Grado de movilidad	Alto	Media (<i>mm</i>)	33.6
	Imbricación	Baja	Acorazamiento	Bajo
	Restos de crecida	Sí	Centilo (<i>mm</i>)	165
	Acciones antrópicas	No		



Figura 80. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 1 en el punto dinámico 11.



Figura 81. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 2 en el punto dinámico 11.



Figura 82. Fotografía del acorazamiento del punto de medición 3 en el punto dinámico 11.

3.3. Análisis hidrológico

El caudal medio para cada uno de los periodos que comprenden desde el 1 de julio hasta 30 de junio del año siguiente se ha calculado a partir de los datos de caudal diario obtenidos del SAIH y se han recogido en la Tabla 12 junto con el número de días por encima del umbral de desbordamiento y movilización de sedimento (Fig. 83). Calculados los valores para ambos periodos se obtiene que, para el periodo 2009-2015, el caudal medio es $225.17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, el total de días por encima del umbral de movilización de sedimento son 357 y por encima del umbral de desbordamiento son 15; para el periodo 2015-2018 el caudal medio es $197.37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, el total de días por encima del umbral de movilización de sedimento es 185 y por encima del umbral de desbordamiento es 20. Los parámetros de caudal medio y número de días por encima del umbral de movilización de sedimento son mayores para el periodo 2009-2015, sin embargo, el número de días por encima del umbral de desbordamiento es mayor para el periodo 2015-2018 por 5 días.

Tabla 12. Parámetros medidos en cada uno de los puntos de medición del punto dinámico 11.

Periodo entre	Caudal medio ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Días por encima del umbral de desbordamiento	Días por encima del umbral de movilización de sedimento
2009-2010	205.78	0	62
2010-2011	135.74	0	15
2011-2012	94.06	0	8
2012-2013	372.88	4	126
2013-2014	238.68	1	62
2014-2015	308.88	10	84
2015-2016	206.99	15	58
2016-2017	105.72	0	13
2017-2018	279.22	5	114

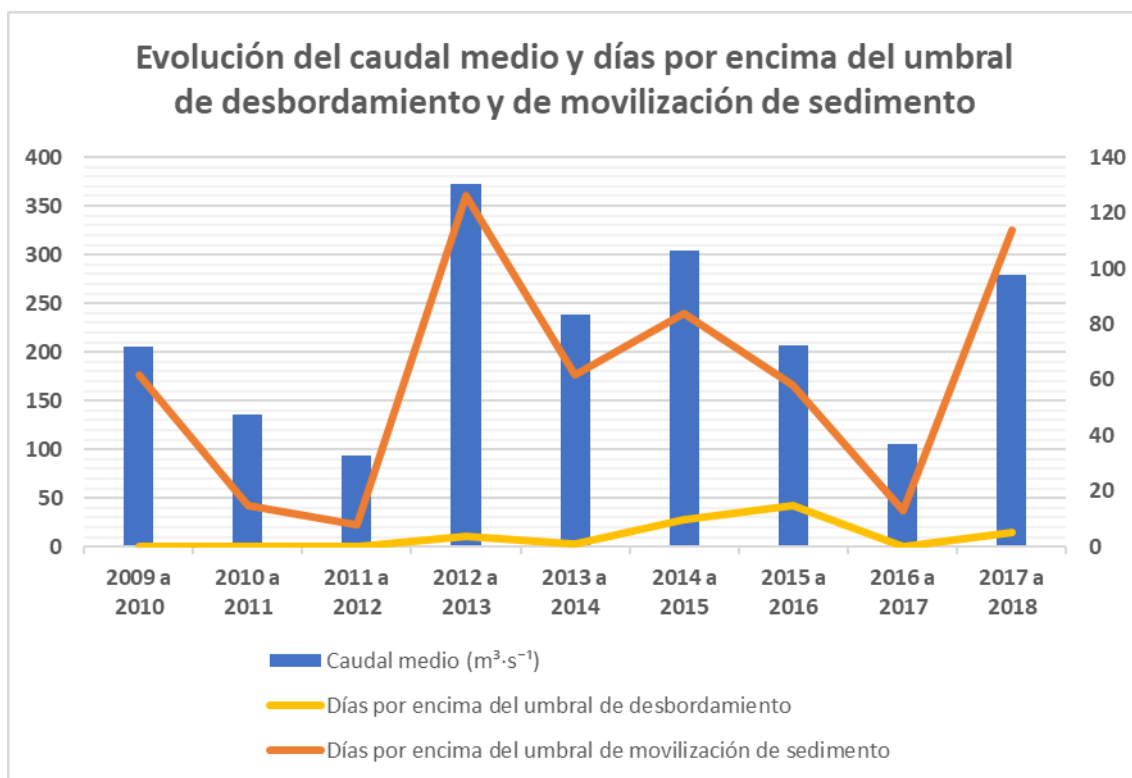


Figura 83. Histograma de la evolución del caudal medio y el número de días por encima del umbral de desbordamiento y de movilización de sedimento.

4. INTERPRETRACIÓN, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Durante las últimas dos décadas todos los puntos dinámicos estudiados han experimentado cambios en mayor o menor medida en sus barras de meandro e islas. En general, los puntos dinámicos que se localizan en la primera mitad o subtramo superior del tramo estudiado, en los primeros siete kilómetros aguas abajo de la capital aragonesa, no han sufrido grandes variaciones a excepción de aquellos en los que se han llevado a cabo acciones antrópicas como el *curage*, eliminación o desbroce. Por tanto, los puntos dinámicos 1, 2 y 3 son los que registran los cambios más drásticos en sus parámetros de superficie total, longitud y anchura máximas y desplazamientos de un periodo al siguiente llegando a registrar valores de 446.63 m de desplazamiento aguas abajo para la isla de la Z-40 o 155.61 m de retroceso aguas arriba para la barra de meandro originada en la confluencia del río Gállego con el río Ebro. En el resto de puntos dinámicos que se incluyen dentro de esta primera mitad del tramo estudiado, es decir, los puntos dinámicos 4, 6 y 7, los cambios son bastante homogéneos y no superan el 12% en ninguno de sus parámetros. Estos puntos dinámicos no se han visto afectados por la acción directa del ser humano, por lo que cabe destacar que en el último periodo o se han mantenido estables (como el punto dinámico 4 en el que se ha producido un desplazamiento aguas debajo de solo 1.36 m para su último periodo) o bien han sufrido un ligero retroceso aguas arriba (como los puntos dinámicos 6 y 7 que han experimentado un retroceso de 8.41 y 2.89 m, respectivamente para su último periodo).

En la segunda mitad o subtramo inferior del tramo estudiado, a lo largo de los siguiente siete kilómetros, a partir del punto dinámico 7, no se han observado evidencias de acciones antrópicas. A excepción de los puntos dinámicos 10 y 13, los puntos de este tramo han experimentado cambios bastante importantes en sus parámetros llegando a alcanzar incrementos del 110.24 % de su longitud máxima, como es el caso del punto dinámico 9, o del 123.09% de su superficie total como es el caso del punto dinámico 12. En general, en este tramo los mayores desplazamientos aguas abajo y del centroide de las islas que componen algunos de los puntos dinámicos se concentran en los primeros periodos y suelen superar los 100 m en el caso de los desplazamientos aguas abajo y los 30 m en el caso del desplazamiento del centroide, que sobre todo se concentran el periodo que comprende de 1999-2003 a 2009. En este aspecto cabe destacar que en los puntos dinámicos 11 y 13 se registran los mayores

desplazamientos aguas abajo de esta mitad del tramo con 234.01 m para el periodo 1999-2003 a 2009 y 190.7 m para el periodo 2009 a 2015, respectivamente. Concretamente en el punto dinámico 13, aunque la barra de meandro de la margen derecha se encuentra estabilizada, la barra de meandro adosada a la orilla del punto dinámico anterior migra aguas abajo de manera constatable durante los momentos de aguas altas. En cuanto a la superficie ocupada por la vegetación, el análisis cuantitativo muestra un incremento progresivo a lo largo de las dos décadas en casi todos los puntos dinámicos. Sin embargo, en los puntos en los que se han concentrado las acciones antrópicas el crecimiento es anómalo, puesto que este crecimiento o bien no se da (punto dinámico 3), o se ralentiza notablemente (punto dinámico 2) o se produce bruscamente en alguno de los periodos (punto dinámico 1). Los incrementos pueden llegar a ser muy rápidos como es el caso de la vegetación pionera del punto dinámico 12, que en el periodo que comprende del 2009 al 2015 aumenta 13306.5 m² o, en el caso de la vegetación madura, aumenta más de un 150% durante el primer periodo del punto dinámico 12, aumentando de 12097.14 m² a 31807.64 m².

Respecto al muestro en campo, los materiales encontrados y las mediciones que se han realizado en los puntos dinámicos son bastante homogéneas en cuanto al grado de movilidad e imbricación del sedimento superficial. El acorazamiento sigue una tendencia a aumentar conforme nos dirigimos aguas abajo y, aunque el tamaño medio de los clastos y el centilo también siguen esta tendencia, no ocurre lo mismo al llegar al punto dinámico 11, en el que estos dos parámetros descienden bruscamente registrándose los valores mínimos. El tamaño medio de los clastos aumenta progresivamente (120.6 mm, 175.3 mm, 194.6 mm, 204.5 mm) al igual que el centilo (216 mm, 265 mm, 270 mm, 390 mm); sin embargo, en el punto dinámico 11 el tamaño medio de los clastos desciende a 89.6 mm y el centilo a 165 mm. El mayor acorazamiento en el punto dinámico 11 y la tendencia progresiva a aumentar registrada desde el punto dinámico 4 indica la elevada facilidad del agua para circular en estos puntos. No obstante, los valores de acorazamiento encontrados son normales para el Ebro medio y esta tipología fluvial, no habiéndose identificado en ellos síntomas de alteraciones importantes. Cabe destacar que los restos de crecida se reparten en la mayoría de los puntos dinámicos visitados, aunque tienen mayor presencia en el punto dinámico 4 y en las orillas contrarias de los puntos dinámicos situados aguas abajo. Además, en tres de los cinco puntos dinámicos visitados se han encontrado evidencias de acciones antrópicas (puntos dinámicos 2, 4 y 7) que han podido modificar alguno de los parámetros, debido a la eliminación de la capa superficial de las barras de gravas que pueden originar importantes procesos erosivos y producir la incisión del cauce.

De esta manera, en base a los resultados obtenidos se observa cómo generalmente los cambios más relevantes se han producido en aquellos puntos dinámicos en los que, o bien se ha intervenido mediante acciones antrópicas intensas (puntos dinámicos 1, 2 y 3), o bien se ha producido el desgaje de las barras de alguna de las márgenes (punto dinámico 10 y 13), o la unión de islas antiguas en otras de mayor tamaño y la aparición de nuevas islas (punto dinámico 8 y 12) como consecuencia de las importantes crecidas que constatan el funcionamiento del sistema fluvial y el mantenimiento de la dinámica fluvial del río. Además, la tendencia general de las islas ha sido la de acercarse progresivamente a la margen derecha del río Ebro al disminuir su distancia entre ambas, a excepción de las islas de los puntos dinámicos 1 y 2, probablemente como consecuencia de las acciones antrópicas. La distribución del caudal medio y el número de días en los que se superan los umbrales de desbordamiento y de movilización de sedimento pone de manifiesto que las frecuentes crecidas son capaces de movilizar una importante cantidad de sedimento, por lo que la dinámica de los puntos estudiados está, con toda probabilidad, estrechamente relacionada con el correcto funcionamiento hidrológico. Las grandes crecidas recientes, como las de los últimos periodos en los que los días en los que se supera el umbral de desbordamiento es cada vez mayor, son las que posibilitan los procesos hidrogeomorfológicos.

Valorando de forma conjunta los cambios y desplazamientos medidos sobre las ortofotografías y las observaciones y análisis de sedimentos en campo, resulta evidente que la dinámica propia de un cauce activo como el Ebro medio se mantiene al menos en barras de meandro e islas. El río sigue siendo,

por tanto, eficaz en su función de transporte de sedimento, como se constató también en algunos trabajos precedentes (Najes *et al.*, 2019). La carga gruesa, que tiene una función clave en la construcción geomorfológica del cauce (Malavoi *et al.*, 2011) y en el establecimiento y renovación de los hábitats (Montgomery, 2001), se moviliza con facilidad, lo cual es un síntoma de salud fluvial (Ollero, 2017), a pesar de los impactos directos e indirectos por acciones humanas que se identifican en el tramo de estudio. En aproximadamente un enclave por kilómetro se registra una dinámica apreciable en el tramo de estudio. Ya se han señalado las diferencias entre puntos dinámicos, pero en líneas generales se puede concluir que los síntomas de dinámica son relativamente homogéneos y generalizados en el tramo de estudio. Y que las crecidas, bastante frecuentes y en algunos casos importantes en los últimos años, son las responsables y también las garantes del mantenimiento de esta dinámica, por lo que se puede confirmar lo ya esbozado por Ollero *et al.*, (2021).

Tal y como se ha desarrollado en el capítulo de metodología, el problema metodológico más importante que se ha planteado en este trabajo ha sido conocer la fecha exacta de las ortofotografías. Las barras bajo lámina de agua, zonas de depósito y erosión, están condicionadas por el momento en el que está capturada la ortofotografía, puesto que el caudal influye en la cantidad de superficie emergida visible de las barras de meandro e islas. Mediante la comparación de las imágenes utilizadas con las imágenes de satélite de Landsat 4-5 TM C2 L2, Sentinel-2 L1 C y L2-A, la mejor aproximación que se ha podido conseguir para las fechas de captura de las imágenes ha sido que fueron tomadas en verano, entre los meses de junio y julio. Otro de los problemas metodológicos ha sido la imposibilidad de el acceso a las islas de los puntos dinámicos donde ha habido más cambios, sobre todo en aquellos donde se han ejecutado acciones antrópicas recientemente, como en el caso de la isla de la confluencia del río Gállego y el río Ebro y la isla debajo de la autovía Z-40 donde el dragado y "la limpieza" ha consolidado una importante incisión del cauce en esta zona, que se había iniciado como consecuencia de la extracción de gravas para la construcción del puente, y que podría terminar afectando a su estabilidad.

A pesar de que existen algunos estudios en este sector del Ebro Medio que incluyen investigaciones sobre las alteraciones sufridas por el río Ebro, los impactos de las crecidas e inundaciones y la dinámica geomorfológica de los meandros (e.g. Ollero, 2020; Ollero *et al.*, 2015, 2021), la dinámica fluvial mediante el uso de los SIG ha sido poco analizada en el ámbito nacional. Por tanto, la originalidad de este trabajo radica en que se han analizado en detalle las barras de meandro y los puntos dinámicos más relevantes escasamente analizados hasta el momento y se han visitado algunos de ellos para constatar su estado, evidenciar posibles acciones antrópicas y realizar diversas caracterizaciones de sus materiales. Este análisis evolutivo de la dinámica fluvial reciente ha sido posible gracias a la utilización precisa de las herramientas SIG que constituyen una herramienta fundamental para el cálculo de datos cuantitativos de la variación temporal y espacial de las superficies movilizadas y las medidas de desplazamiento de las barras de meandro y sus islas.

La comparación evolutiva de los puntos dinámicos a lo largo de los últimos 20 años refleja un primer periodo, que comprende desde 1999-2003 hasta 2015, en el que la migración de las barras de meandro es característica aunque en un contexto de ralentización de la actividad del río, mientras que, por el contrario, en el último periodo desde 2015 hasta 2018 destaca un proceso de estabilización generalizado en el que algunos sectores aún muestran capacidad de cambio con migraciones poco significativas, pero con aún cierto dinamismo asociado principalmente a las crecidas (fueron relevantes las de 2015 y 2018) que constata la movilidad geomorfológica del río Ebro.

La interpretación de la dinámica fluvial mediante la metodología utilizada, así como la cuantificación de los parámetros de los diferentes puntos dinámicos permiten comparar evolutivamente el comportamiento del río Ebro y los impactos de los elementos antrópicos que impiden la dinámica del cauce. Incluidas en la planificación territorial, estas metodologías y resultados son de gran utilidad para la Administración y en concreto para los planes de gestión de la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos del Ebro. En este sentido, es importante poner en conocimiento de estos ámbitos de gestión y conservación el estado actual de los puntos dinámicos, así como proponer medidas de conservación y restauración que permitan restablecer su dinámica, conservar y protegerlos con el objetivo de conseguir

una mayor movilidad fluvial y reducir los riesgos, como también evitar la ejecución de acciones antrópicas injustificadas que generan grandes alteraciones geomorfológicas en el sistema fluvial como los dragados y desbroces. La restauración de los ríos es uno de los grandes retos ambientales en la actualidad, y para el funcionamiento óptimo del ecosistema fluvial es imprescindible la conservación de la dinámica hidrogeomorfológica. Esta es una de las principales vertientes aplicadas del presente trabajo.

En cuanto a la mejora y ampliación de esta línea de trabajo, se abren nuevas perspectivas hacia mejorar el entendimiento del funcionamiento y la dinámica en estos puntos de interés, la obtención de nuevos datos y seguimiento sobre la antropización en estos sectores, en los que continuamente se están ejecutando acciones antrópicas por parte de la CHE, la complementación de datos de campo con más mediciones y la posible ampliación del contexto geográfico para la aplicación de estos métodos en otros puntos dinámicos situados tanto aguas abajo como aguas arriba.

En definitiva y como síntesis y conclusión final, la aplicación de metodologías SIG y la utilización de ortofotografías ha permitido el análisis evolutivo de los puntos dinámicos, así como la cuantificación de los cambios en sus superficies, concentrándose los más evidentes en los dos primeros periodos estudiados que comprenden desde 1999-2003 hasta 2015. En base a los resultados obtenidos de la aplicación de estas metodologías y de las caracterizaciones en campo, la tendencia fluvial ha sufrido un proceso de estabilización progresivo desde el año 2015 con pocos cambios y migraciones y con un incremento de la colonización vegetal. Cabe destacar en este sentido que los cambios más importantes se han concentrado en los puntos dinámicos en los que se han ejecutado acciones antrópicas directas, como la aplicación de la técnica de *curage* o el desbroce con maquinaria pesada, y en los puntos dinámicos que incluyen la formación de islas; asimismo, el punto dinámico 13 llama la atención por constituir el máximo exponente de la gran capacidad de desplazamiento del río, ya que la barra de meandro del punto dinámico anterior se desgajo en una isla que se desplazó, en los dos primeros periodos, más de 350 metros aguas abajo. Todo ello explica y certifica que el Ebro Medio conserva su dinámica fluvial propia de un río de llanura con una extensa llanura de inundación, que esta dinámica es activa y funcional, aunque restringida a barras de meandro e islas, que las crecidas son el motor activo de la dinámica, que las crecidas del futuro garantizaran y mantendrán la funcionalidad del sistema, y que hay que prestar atención a las consecuencias de las acciones humanas, siendo necesario a futuro un seguimiento permanente de los puntos dinámicos estudiados.

5. BIBLIOGRAFÍA

Acín, V.; Ballarín, D., Brufao, P.; Domenech, S.; Espejo, F.; Gonzalez, J.C.; Granado, D.; Ibisate, A.; Marcén, C.; Mora, D.; Nadal, E.; Ollero, A.; Sánchez Febre, M.; Saz, M.A.; Serrano, R. (2012). Sobre las precipitaciones de octubre de 2012 en el Pirineo aragonés, su respuesta hidrológica y la gestión de riesgos. *Geographicalia*, (61), 101-128.

Balasz, J. C., Vericat, D.; Batalla, R. J. (2007). Deposición de sedimentos finos durante una crecida en un tramo del Ebro medio. *Cuaternario y Geomorfología*, 41-55.

Beguiría, S.; López-Moreno, J.I.; Lorente, A.; Seeger, M.; y García-Ruiz, J. M. (2003). Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees. *AMBIO: A journal of the Human Environment*, 32(4), 283-286.

Bertalan, L., Rodrigo, J., Surian, N., Michalková, M.Š., Kovács, Z., Szabó, S., Szabó, G., Hooke, J. (2019) Detailed assessment of spatial and temporal variations in river channel changes and meander evolution as a preliminary work for effective floodplain management. The example of Sajó River, Hungary. *Journal of Environmental Management*, 248, doi: j.jenvman.2019.109277.

Bescós, A. y Camarasa, A.M. (2004). La creciente ocupación antrópica del espacio inundable y el aumento de la vulnerabilidad en las poblaciones del bajo Arga (Navarra). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 2004, num. 37, p. 101-117.

- Díaz Redondo, M., Marchamalo, M., Egger, G., Magdaleno, F. (2018) Toward floodplain rejuvenation in the middle Ebro River (Spain): from history to action. *Geomorphology*, 317: 117-127.
- Domenech, S., Espejo, F., Ollero, A.; Sánchez Fabre, M. (2009). Recent floods in the Middle Ebro River, Spain: hydrometeorological aspects and floodplain management. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6(5), 5937-5976.
- Duquesne, A. (2021) *Trajectoire d'évolution d'un cours d'eau à faible énergie au cours du second Holocène: la Charente entre Angoulême et Saintes*. Thèse de Doctorat, La Rochelle Université.
- Espejo, F. (2008). Hacia una tipología de inundaciones en la cuenca del Ebro en función de sus causas atmosféricas.
- Espejo, F., Domenech, S., Ollero, A. y Sánchez Fabre, M. (2008): La crecida del Ebro de 2007: procesos hidrometeorológicos y perspectivas de gestión del riesgo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 48: 129-154.
- García-Ruiz, J.M.; Puigdefabregas Tomas, J.; Martín Ranz, M.C. (1983). Diferencias espaciales en la respuesta hidrológica a las precipitaciones torrenciales de noviembre de 1982 en el Pirineo Central. *Estudios geográficos*, 44(170), 291.
- García-Ruiz, J.M.; Beguería, S.; López-Moreno, J.I.; Lorente, A.; Seeger, M. (2001). Los recursos hídricos superficiales del Pirineo aragonés y su evolución reciente. *Geoforma ediciones S.L.* 192 pág. Logroño.
- González, E. (2012). The ecology of the Middle Ebro floodplain forests and their hydrogeomorphic drivers: An integrative assessment for management. *Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens/Journal of Mediterranean geography*, (118), 29-40.
- Graf, W. (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, 79(3-4), 336-360.
- Hey, R.D., Thorne, C.R. (1986) Stable channels with mobile gravel beds. *Journal of Hydraulic Engineering*, 112(8): 671-689.
- Horacio, J., Ollero, A., Noguera, I., Fernández Pasquier, V. (2019) Flooding, channel dynamics and transverse infrastructure: a challenge for Middle Ebro river management. *Journal of Maps*, 15(2): 310-319.
- López-Moreno, J. I.; Beguería, S.; García-Ruiz, J. M. (2006). Trends in high flows in the central Spanish Pyrenees: response to climatic factors or to land-use change?. *Hydrological Sciences Journal*, 51(6), 1039-1050.
- Losada, J.Á.; Montesinos, S.; Omedas, M.; Aranda, S. M., Margelí, M.; García, M.A. (2004). Cartografía de las inundaciones del río Ebro en febrero de 2003: trabajos de fotointerpretación, teledetección y análisis SIG en el GIS-Ebro. In *Medio ambiente, recursos y riesgos naturales: análisis mediante tecnología SIG y teledetección: aportaciones al " XI Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección" celebrado en Murcia, 20-23 de septiembre, 2004* (pp. 207-218). Servicio de Publicaciones.
- Magdaleno, F. (2011) *Evolución hidrogeomorfológica del sector central del río Ebro a lo largo del siglo XX. Implicaciones ecológicas para su restauración*. Tesis doctoral. E.T.S. Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- Magdaleno, F., Fernández, J.A. (2011) Meander dynamics in a changing river corridor. *Geomorphology*, 130: 197-207.
- Magilligan, F.J. y Nislow, K.H. (2005). Changes in hydrologic regime by dams. *Geomorphology*, 71(1-2), 61-78.

- Malavoi, J.R., Garnier, C.C., Landon, N., Recking, A., Baran, P. (2011) *Éléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière*. Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), 216 p., Vincennes.
- Marquínez, J.; Fernández-Iglesias, E.; Arnal, J; M., Moreno, M. L. (2014). Reactivación del cauce histórico del río Ésera por la avenida de junio de 2013 (Pirineo Central). *XIII Reunión Nacional de Geomorfología*, 115-118.
- Martín Vide, J.P. (Coord., 2018) *Estudio del equilibrio sedimentario del río Ebro en el tramo urbano de Zaragoza*. Informe inédito, Ayuntamiento de Zaragoza.
- Mateu, J.F.; Camarasa, A.M. (2000). Las inundaciones en España en los últimos veinte años: Una perspectiva geográfica. *Serie Geográfica* 9: 11-16
- Montgomery, D.R. (2001) Geomorphology, river ecology, and ecosystem management. In Dorava, J.M., Montgomery, D.R., Palcsak, B.B., Fitzpatrick, F.A. (Eds.) *Geomorphic processes and riverine habitat*, 247-253, American Geophysical Union, Washington.
- Morais, E.S., Rocha, P.C., Hooke, J. (2016) Spatiotemporal variations in channel changes caused by cumulative factors in a meandering river: the lower Peixe River, Brazil. *Geomorphology*, 273: 348-360.
- Najes, L., Ollero, A., Sánchez Fabre, M. (2019) Evolución y dinámica geomorfológica actual del río Ebro en la Reserva Natural Dirigida de los Sotos y Galachos (Zaragoza) *Cuaternario y Geomorfología*, 33(1-2): 47-63.
- Noguera, I. (2018) *Evolución y dinámica reciente del curso medio del río Ebro en el tramo de Alfaro-Castejón (La Rioja y Navarra)*. Trabajo fin de Máster en Ordenación Territorial y Medioambiental, Universidad de Zaragoza.
- Ollero, A. (1992). Los meandros libres del río Ebro (Logroño-La Zaida): geomorfología fluvial, ecogeografía y riesgos. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 1.138 pp.
- Ollero, A. (1996). Dinámica de meandros y riesgos hidrogeomorfológicos en Alcalá de Ebro y Cabañas de Ebro (Zaragoza). *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe: Revista de xeoloxía galega e do hercínico peninsular*, (21), 431-443.
- Ollero Ojeda, A. (2000). Crecidas fluviales en la cuenca del Ebro desde 1980: estado de la cuestión, principales eventos y sistemas de prevención.
- Ollero, A. (2002). Ecogeografía del río Ebro. In *Ríos y ciudades: aportaciones para la recuperación de los ríos y riberas de Zaragoza* (pp. 135-158). Institución Fernando el Católico.
- Ollero, A (2006). Inundaciones y ordenación del territorio fluvial en la cuenca del Ebro. En Chastagnaret, G. y Gil Olcina, A. (Dir.): *Riesgo de inundaciones en el Mediterráneo occidental*, 239-272, Casa de Velázquez y Universidad de Alicante.
- Ollero A. (2010) Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain. *Geomorphology*, 117: 247-260.
- Ollero, A. (2011). Crecidas e inundaciones en la Ribera Alta del Ebro. Conference: Foro Joven, "Convivir con el Ebro: las crecidas"
- Ollero, A. (2017) *Hidrogeomorfología y geodiversidad: el patrimonio fluvial*. Centro de Documentación del Agua y del Medio Ambiente, Ayuntamiento de Zaragoza, 111 p., Zaragoza.
- Ollero, A.; Pellicer, F.; & Sánchez Fabre, M. (2004). La crecida de febrero de 2003 en el curso medio del Ebro: análisis de su evolución espacio-temporal. *Aportaciones geográficas en homenaje al Profesor Antonio Higuera Arnal*, 143-55.

- Ollero, A.; Sánchez Fabre, M.; Losada, J.A.; Hernández, C. (2004). El comportamiento hídrico del río Ebro en su recorrido por Aragón. *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*, 243-252.
- Ollero, A.; Ballarín, D.; Mora, D. (2006). Cambios en el cauce y el llano de inundación del río Ebro (Aragón) en los últimos 80 años. *Geographicalia*, (50), 87-109.
- Ollero, A., Ibisate, A., Granado, D., Real de Asua, R. (2015) Channel responses to global change and local impacts: perspectives and tools for floodplain management (Ebro River and tributaries, NE Spain). In Hudson, P.F., Middelkoop, H. (ed.) *Geomorphic approaches to integrated floodplain management of lowland fluvial systems in North America and Europe*, 27-52, Springer, New York.
- Ollero, A., García, J.H., Ibisate, A., Sánchez Fabre, M. (2021) Updated knowledge on floods and risk management in the Middle Ebro River: the “Anthropocene” context and river resilience. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 47: 73-94, doi 10.18172/cig.4730.
- Petts, G.E., y Gurnell, A.M. (2005). Dams and geomorphology: research progress and future directions. *Geomorphology*, 71(1-2), 27-47.
- Sánchez Fabre, M.; Ballarín, D.; Mora, D.; Ollero, A.; Serrano, R.; Saz, M.A. (2015). Las crecidas del Ebro medio en el comienzo del siglo XXI. En: Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación (J. De la Riva; P. Ibarra; R. Montorio; M. Rodrigues, ed.). Universidad de Zaragoza y Asociación de Geógrafos Españoles, Zaragoza, 1853-1862.
- Tarolli, P.; Borga, M.; Morin, E.; Delrieu, G. (2012). Analysis of flash flood regimes in the North-Western and South-Eastern Mediterranean regions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(5), 1255-1265.
- Terranova, O. G. y Gariano, S. L. (2014). Rainstorms able to induce flash floods in a Mediterranean-climate region (Calabria, southern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(9), 2423-2434.
- Wang, B., Xu, Y.J. (2018) Dynamics of 30 large channel bars in the Lower Mississippi River in response to river engineering from 1985 to 2015. *Geomorphology*, 300: 31-44.
- Wickert, A.D., Martin, J.M., Tal, M., Kim, W., Sheets, B., Paola, C. (2013) River channel lateral mobility: metrics, time scales, and controls. *Journal of Geophysical Research, Earth Surface*, 118(2): 396-412.