

Cuadernos I. Geográfica	16	1-2	73-84	Logroño	1990
-------------------------	----	-----	-------	---------	------

PENDIENTE, SINUOSIDAD Y TIPOS DE CANAL EN EL EBRO MEDIO

Alfredo OLLERO OJEDA*

RESUMEN. -Se han calculado los valores de pendiente y sinuosidad del cauce del río Ebro en su curso medio, a lo largo de 338 km. de meandros libres entre Logroño y Alforque. Ambos parámetros se han calculado igualmente para los 22 sectores en que se ha dividido longitudinalmente el río, buscando una relación causa-efecto entre pendiente y sinuosidad que no es clara en todos los casos. Tras definir los tipos de canal del Ebro medio, se completa el trabajo comparando los resultados obtenidos con los valores registrados en los ríos Po y Garona.

SUMMARY. -Slope, sinuosity and channel patterns in the Ebro River. The values of slope and sinuosity of the bed of the middle Ebro river have been calculated, along 338 km. of free meanders between Logroño and Alforque. Both parameters have been calculated in the same way for the 22 sections in which the river has been divided longitudinally, looking for a cause-effect relationship between slope and sinuosity which is not clear in all cases. After defining the channel patterns of middle Ebro river, the work is completed comparing the achieved results with the registered values for the rivers Po and Garonne.

Palabras clave: Cauce, meandros libres, pendiente, índice de sinuosidad, modelos de canal, río Ebro, ríos Po y Garona.

Key words: River-bed, free meanders, slope, sinuosity, channel patterns, Ebro river, Po & Garonne rivers.

1. Introducción y método

La Confederación Hidrográfica del Ebro considera como curso medio del Ebro al tramo comprendido entre las presas de Sobrón y Mequinenza. En

*Depto. de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza.

nuestro caso, adoptamos un criterio geomorfológico, de manera que definimos como Ebro medio el que describe meandros divagantes sobre la llanura de inundación. Ello tiene lugar entre El Cortijo (término de Logroño) y la presa de Alforque (término de La Zaida), mientras aguas arriba de la primera localidad y aguas abajo de la segunda el cauce discurre dibujando meandros encajados en los materiales terciarios, de curvaturas más exageradas que los libres.

En el presente trabajo llevamos a cabo un análisis de la pendiente y la sinuosidad del cauce del Ebro de meandros libres, tanto en conjunto como por sectores, ya que se trata de dos parámetros básicos a la hora de abordar un estudio de geomorfología de un cauce fluvial. Como ocurre en los casos de otros ríos de la Europa meridional, como el Po y el Garona, con los que hemos tratado de comparar los datos, parece que la baja pendiente es un factor importante a la hora de explicar el trazado meandriforme.

Para una correcta caracterización del Ebro medio hemos realizado su subdivisión en 22 sectores, obteniendo para cada uno de ellos los valores de sinuosidad y pendiente.

Para el cálculo de la pendiente del cauce era preciso contar con las cotas topográficas del mismo en los puntos de inicio y final de cada sector. Dicha labor ha resultado costosa a causa de la ausencia de nivelaciones del cauce en la Confederación Hidrográfica del Ebro. Ha sido necesaria la consulta de la cartografía de detalle (escalas 1:10.000 y 1:2.000) realizada para el Plan de Defensa contra las avenidas del Ebro en su tramo medio (1981), completando la información con la consulta de mapas topográficos convencionales y trabajo de campo. El resultado cuenta con un margen de error de + 1 metro. Por ello, es preciso tomar los datos de pendiente de cada uno de los tramos con precauciones, siendo más fiables los cálculos de pendiente referidos a grandes tramos y, por supuesto, el que define al conjunto del curso medio del Ebro.

Por lo que respecta a la sinuosidad, se ha medido la longitud del valle en cada sector y la del cauce en estiaje a partir de las fotografías aéreas de octubre de 1981, realizadas igualmente por la Confederación Hidrográfica del Ebro para el Plan de Defensa contra las avenidas del Ebro en su tramo medio (1981).

Se ha tomado como hipótesis de trabajo que la pendiente es un factor de la sinuosidad del cauce. Para su verificación, se ha realizado una correlación entre pendiente y sinuosidad a partir de los pares de valores correspondientes a cada uno de los 22 sectores estudiados.

Una vez definidos pendiente y sinuosidad estamos en disposición de analizar la morfología del cauce del Ebro medio, atendiendo principalmente a la tipología del canal. Ello se ha llevado a cabo a gran escala, dividiendo el curso en sectores de comportamiento homogéneo.

Por último, y dado que el principal fin del presente trabajo consiste en caracterizar el cauce del Ebro con parámetros básicos susceptibles de comparación con otros cauces, se ha llevado a cabo un breve estudio comparativo con Po y Garona, empleando datos procedentes de trabajos consultados por el autor en sendas estancias en Turín y Toulouse.

2. Pendiente del cauce

A lo largo de los 338 km. de cauce entre el Cortijo y Alforque, el desnivel que salva el río es de 225 metros, lo cual supone una baja pendiente media de 66,6 cm/km. Destaca la existencia de notables diferencias entre unos tramos y otros, lo cual se observa a simple vista en el perfil longitudinal (fig. 1), en el que no se han representado las numerosas presas y azudes. Podemos definir una clara división en cuatro grandes tramos:

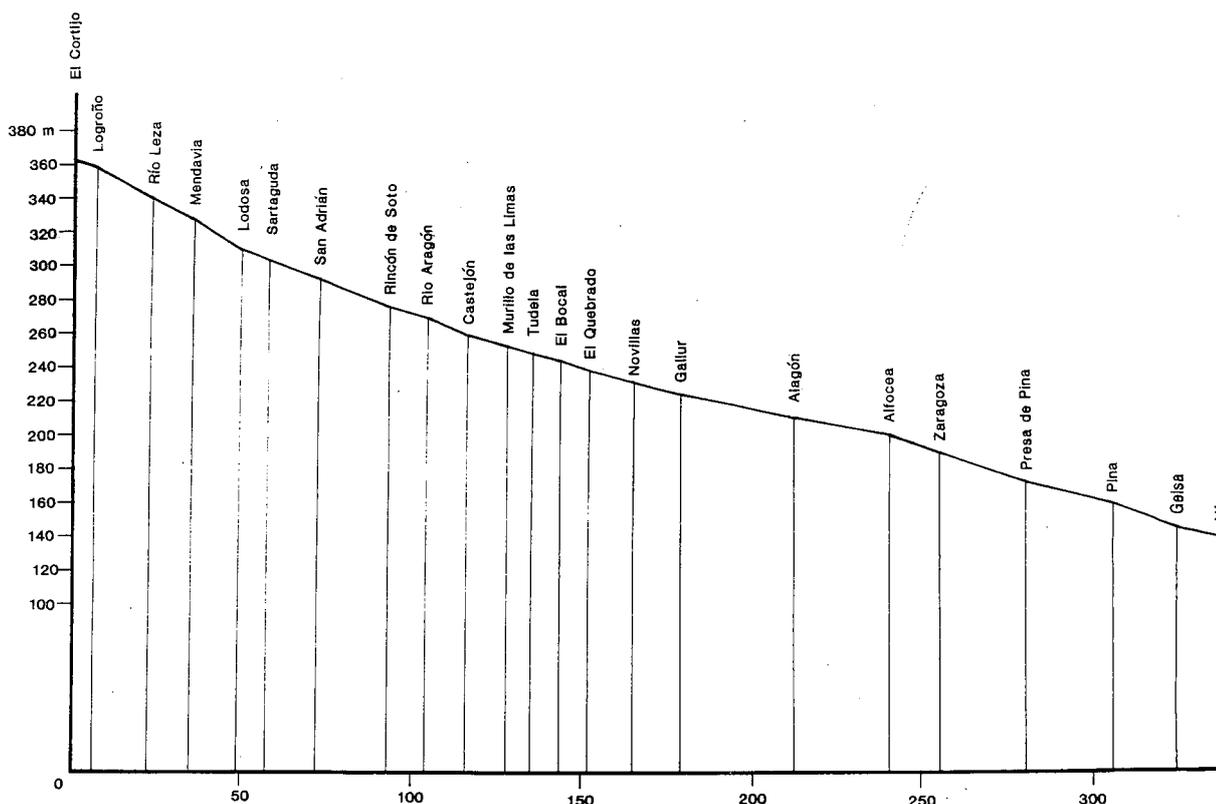


Figura 1. Perfil Longitudinal del Cauce Medio del Ebro.

a) Un primer sector entre Logroño y Lodosa en el que la pendiente del cauce es muy superior a la del resto del Ebro medio. Sin contar con un primer tramo entre El Cortijo y Logroño cuya pendiente (67,6 cm/km) es muy similar a la media, a partir de la capital riojana se produce un notable incremento de los valores, que entre Logroño y Lodosa marcan una media de 116,3 cm/km. El tramo de mayor pendiente de todo el Ebro medio es el que va de Mendavia a Lodosa, con desnivel de 131,4 cm/km. (v. cuadro 1).

b) En un segundo sector, entre Lodosa y Gallur, la pendiente se suaviza, regularizándose en torno a valores próximos a la media del Ebro medio. Dentro de este sector podemos distinguir un primer tramo desde Lodosa a Castejón con pendientes aún relativamente fuertes (73,9 cm/km. de media) y un segundo de Castejón a Gallur en el que la media parcial desciende a 57 cm/km., a pesar del ligero incremento que tiene lugar entre El Bocal y El Quebrado.

OLLERO-OJEDA

CUADRO 1.

Pendiente y sinuosidad por sectores

TRAMO	Lv	Lc	Is	Δ Alt	P
El Cortijo-Logroño(Pte. Piedra)	6,6	7,4	1,12	364-359=5	67,6
Logroño-Confluencia Leza	11,7	17,2	1,47	359-340=19	110,5
Confluencia Leza-Barca Mendavia	9,1	12,1	1,33	340-327=13	107,4
Barca Mendavia-Puente Lodosa	10,7	13,7	1,28	327-309=18	131,4
Puente Lodosa-Barca Sartaguda	6,7	8,2	1,22	309-303=6	73,2
Barca Sartaguda-Puente San Adrián	10,2	15,1	1,48	303-293=10	66,2
Pte. San Adrián-Pte Rincón de Soto	12,0	20,3	1,69	293-277=16	78,8
Puente Rincón-Confluencia Aragón	7,5	10,9	1,45	277-269=8	73,4
Confluencia Aragón-Pte.Autopista	8,7	11,8	1,36	269-260=9	76,3
Pte.Autopista-Murillo de las Limas	8,5	11,8	1,39	260-254=6	50,8
Murillo de las Limas-Puente Tudela	6,7	7,7	1,15	254-250=6	51,9
Puente Tudela-El Bocal	6,3	8,1	1,29	250-245=5	61,7
El Bocal-El Quebrado	7,3	8,3	1,14	245-239=6	72,3
El Quebrado-Puente Novillas	10,5	13,2	1,26	239-232=7	53,0
Puente Novillas-Puente Gallur	8,8	13,9	1,58	232-224=8	57,6
Puente Gallur-Puente Alagón	17,2	33,1	1,92	224-210=14	42,3
Puente Alagón-Puente Alfocea	17,4	28,4	1,63	210-200=10	35,2
Pte.Alfocea-Zaragoza (Pte.Piedra)	8,9	14,9	1,67	200-189=11	73,8
Puente Zaragoza-Presa Pina	18,2	24,8	1,36	189-172=17	68,5
Presa Pina-Puente Pina	15,2	25,4	1,67	172-159=13	51,2
Puente Pina-Puente Gelsa	11,5	19,3	1,68	159-145=14	72,5
Puente Gelsa-Presa Alforque	10,8	12,4	1,15	145-139=6	48,4
TOTAL	230,5	338,0	1,466	364-139=225	66,6
Lv = longitud del valle (km); Lc = longitud del cauce en 1981 (km); Is = índice de sinuosidad en 1981; Δ Alt. = diferencia de altitud (m.s.n.m.); P = pendiente del cauce en 1981 (cm/km)					

c) Entre Gallur y Alfocea el curso del Ebro presenta los máximos valores de sinuosidad coincidiendo con la pendiente mínima: 42,3 cm/km. entre Gallur y Alagón y tan sólo 35,2 cm/km. entre Alagón y Alfocea.

d) Un cuarto y último sector, entre Alfocea y Alforque, en el que se vuelve a los valores próximos a la media, con una clara alternancia entre sectores de más y menos pendiente. Sobresale en primer lugar el brusco incremento de la pendiente que tiene lugar aguas abajo del puente de Alfocea: el tramo Alfocea-Zaragoza alcanza una pendiente de 73,8 cm/km, más del doble que la del tramo anterior. Ello se debe, entre otros factores, a la existencia de una corta reciente, la que originó en 1961 el Galacho de Juslibol, reduciendo en aproximadamente un kilómetro el cauce del Ebro.

3. Índice de sinuosidad

Un parámetro fundamental en el estudio de las corrientes meandriformes lo constituye el índice de sinuosidad, resultante de dividir la longitud del cauce entre la del valle. El valor del índice para el conjunto del Ebro medio era en 1981 de 1,46, contando con numerosas variaciones, tanto espaciales como temporales, en función de procesos de progresión de determinados meandros, frente a la consecución de cortas en otros.

LEOPOLD, WOLMAN & MILLER (1964) restringen el término *meandering* a canales con curvas de considerable simetría y un índice de sinuosidad superior a 1,5, por lo que el Ebro medio se encuentra en su umbral. Dado que la idea de meandro va asociada a la morfología de la curva, que tiende hacia una progresiva regularización, no podemos hablar de cauce meandriforme si las curvas consideradas no forman una familia continua y de dimensiones regulares.

Por ello, no podemos considerar al Ebro medio como un meandriforme típico, sino que presenta rupturas, tramos rectos, otros de leve sinuosidad, y casos de transición al braided, como veremos en el apartado dedicado a la morfología del cauce. De acuerdo con los datos recogidos en el cuadro 1, se supera el umbral marcado por LEOPOLD et al. (1964) en el sector San Adrián-Rincón de Soto (1,69), en todo el tramo Novillas-Zaragoza, con un valor máximo de 1,92 entre Gallur y Alagón, y aguas abajo de Zaragoza en el tramo comprendido entre la presa de Pina y Gelsa.

Destacan por su baja sinuosidad los sectores primero y último del Ebro medio, es decir, aquellos que enlazan los meandros libres con los encajados. Presentan igualmente una sinuosidad baja los tramos Leza-Sartaguda y Murillo de las Limas-Novillas. Ambos coinciden con puntos de estrechamiento y cambio de dirección del valle.

4. Relación entre pendiente y sinuosidad

Estudios más detallados sobre tramos concretos del cauce del Ebro medio (OLLERO, 1989) muestran ejemplos claros sobre la existencia de una relación entre pendiente y sinuosidad o, al menos, sobre la influencia de la pendiente en

la morfología del cauce. Así, en puntos de pendiente fuerte se observa una tendencia al braided y una mayor facilidad para producirse cortas y desbordamientos; de hecho suelen ser los tramos más defendidos. Por otra parte, en los sectores de pendiente más baja asistimos al desarrollo de un canal de meandros regularizados, con mucha curvatura y mayor estabilidad.

Estas observaciones nos han llevado a calcular la correlación entre ambos parámetros, tomando como variable independiente la pendiente. El resultado (figura 2) no es del todo satisfactorio, ya que el coeficiente de correlación ($r = -0,185$) es demasiado bajo como para aceptar la hipótesis previa. Ahora bien, la recta de regresión nos muestra una tendencia clara de descenso de la sinuosidad conforme aumenta la pendiente. Dicha confirmación de nuestra hipótesis de trabajo puede ser aceptada en espera de posteriores estudios en los que intentaremos trabajar con un número de sectores muy superior a los 22 estudiados, siempre que contemos con datos topográficos suficientes para ello.

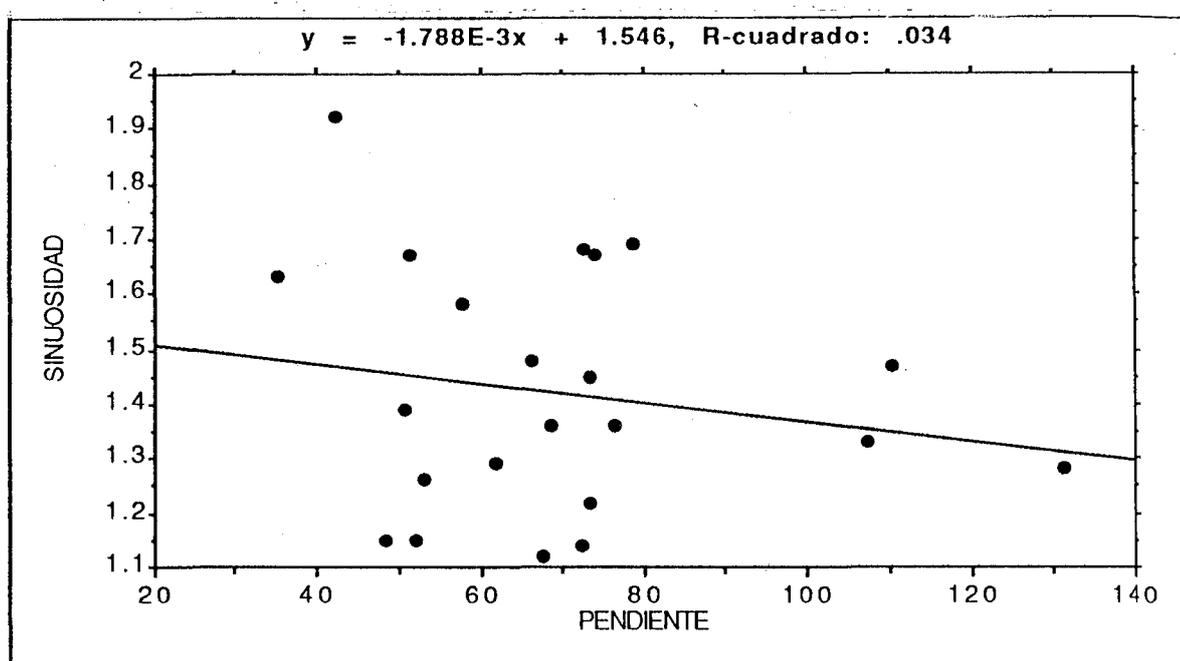


Figura 2. Correlación Pendiente (cm./km.)-Sinuosidad y Recta de Regresión para los 22 sectores del Ebro medio.

Entre las causas de la falta de una buena correlación pendiente-sinuosidad, hay que considerar en primer lugar, por tanto, el haber trabajado con sectores excesivamente grandes e internamente heterogéneos en cuanto a las características del canal. Pero no podemos olvidar otros factores como las rupturas puntuales del equilibrio a raíz de cortas de meandros o ciertas correcciones artificiales del cauce, o bien los cambios bruscos de dirección como consecuencia de choques contra las paredes del valle.

5. Morfología del cauce del Ebro medio: Tipos de canal

Para concluir la caracterización del cauce del Ebro medio vamos a definir brevemente los diversos tipos de canal que encontramos a lo largo de su curso, muy difíciles de sistematizar por su variedad.

a) En primer lugar, los *tramos rectos* son numerosos aunque no alcanzan nunca longitudes superiores a los 3 ó 4 km. En todos los casos cuentan con alternancia de barras de grava laterales móviles que son origen de leves sinuosidades. Son ejemplos de cauce recto los tramos Arguedas-Murillo de las Limas, Murillo de las Limas-Traslapuente (Tudela), el paso del Ebro por Zaragoza (desde la Almozara a la confluencia del Gállego) y un sector a la altura de Osera.

b) Coincidiendo con un índice de sinuosidad con valores entre 1,2 y 1,4, aproximadamente, encontramos un tipo de *transición entre el canal recto y el meandriforme* caracterizado también por la existencia de barras alternas migrantes. Son curvas en las que la longitud de onda es muy superior a la amplitud, presentando radios de curvatura altos. Encontramos tres grandes tramos del Ebro medio que responden a este modelo:

- De Logroño a Sartaguda, condicionado por la estrechez del valle.
- De Tudela a Novillas, con curvas más amplias por la mayor anchura del valle.
- Desde Gelsa hasta el final del Ebro medio (Alforque).

c) El canal *meandriforme bien desarrollado* cuenta con una extensión muy importante en el Ebro medio, si bien los trenes de meandros carecen de continuidad y no han podido lograr el modelo ideal de sinuosidad. Ello se debe a los choques con las paredes del valle, a la persistencia de las avenidas generando alteraciones y cortas, y al constreñimiento del cauce por parte de las obras de contención, producido en un momento en el que el canal no había alcanzado su estabilidad.

Este modelo meandriforme se desarrolla entre la presa de Pradejón y Azagra, con curvas de notable regularidad y pequeñas dimensiones, dado que nos encontramos todavía en un valle estrecho y el Ebro no ha recibido aún los caudales de sus más importantes afluentes. Pero el tramo del Ebro medio meandriforme por excelencia es el que discurre entre Novillas y Gelsa (podríamos definirlo como el Ebro medio aragonés), con una sucesión de trenes de meandros casi continua, sólo alterada por los cortos tramos rectos de Zaragoza y Osera. Dentro de este Ebro claramente meandriforme podemos distinguir varios subsectores:

- En Gallur se inicia un tren de meandros de grandes dimensiones que presenta una ruptura en Luceni.
- Inmediatamente después, entre Alcalá de Ebro y Alagón se desarrolla el tren de mayor sinuosidad, con una serie de meandros muy irregulares aunque de menor amplitud y longitud de onda que los del subsector anterior.

- Entre Alagón y Juslibol el Ebro discurre adosado al escape del Castellar, lo cual provoca una pérdida de regularidad en la familia de meandros, regularidad que es recuperada a la entrada de Zaragoza.
- Entre la Cartuja Baja y Osera la abundancia de cortas recientes (galachos de Lierta y la Alfranca) ha reducido la sinuosidad de un tramo en el que las curvas debieron de ser muy regulares.
- Un último sector *meandering* se desarrolla entre Aguilar de Ebro y Gelsa, destacando dos meandros de gran amplitud de onda a la altura de Quinto.

d) Por último, el tipo *braided* sólo se desarrolla aguas abajo de las numerosas presas del cauce, así como en la confluencia Ebro-Aragón en la fotografía aérea de 1927 (OLLERO, 1989), merced al aumento de la pendiente y a la abundancia de acarreo.

Además de la tipología reseñada, desde el punto de vista de la morfología del cauce lo más significativo del área de estudio es la abundancia de cortas producidas en las sucesivas avenidas, con los consiguientes brazos abandonados, así como la existencia de brazos ciegos en los vértices de la mayoría de los meandros.

6. Comparación del Ebro con los cauces del Po y Garona

El río Po ha sido estudiado por DUTTO (1987) en un tramo muy interesante por sus variaciones históricas, entre las confluencias de los afluentes Tánaro y Ticino (fig. 3). Dicho tramo alcanza una longitud de 34 km. y su pendiente media es de 50 cm./km. Es preciso tener en cuenta que tanto el caudal como la anchura y la profundidad del cauce del Po presentan en el tramo estudiado dimensiones al menos tres veces mayores que en el Ebro o Garona. Sin embargo, la morfología y los procesos del cauce son muy similares. Otro hecho a tener en cuenta y que diferencia claramente al Po es la abundancia de cortas artificiales de meandros realizadas a lo largo de la historia, fenómeno al que se une un encauzamiento casi total con defensas muy antiguas. Ello ha implicado un constreñimiento de la tendencia natural del cauce, cuyo índice de sinuosidad ha descendido considerablemente, desde el valor 1,61 en 1824 hasta el 1,14 de 1986, siguiendo una progresión continua (1,47 en 1852, 1,20 en 1922 y 1,19 en 1966). En la actualidad, podemos definir el cauce del Po en el tramo estudiado por DUTTO (1987) como rectilíneo con suaves curvas de gran radio.

El Garona medio presenta mayor similitud con el Ebro, con una pendiente casi idéntica (v. cuadro 2), de acuerdo con el reciente atlas realizado por LALANNE-

CUADRO 2.
Pendiente y sinuosidad en Ebro, Po y Garona

	Lc (km)	Δ Altitud	P(cm/km)	Is
EBRO medio (El Cortijo-Alforque)	338	364-139=225	66,6	1,466
PO medio (Tánaro-Ticino)	34	72-55=17	50	1,14
GARONA medio (Carbonne-La Réole)	270	190-6=184	68	1,28

EL RIO EBRO

BERDOUTICQ *et al* (1989). La pendiente del cauce descende progresivamente conforme nos acercamos al curso bajo del río. Así, entre Carbone y Toulouse alcanza los 153 cm. por km. Entre Toulouse y Malause (junto a la confluencia del Tarn), ha descendido ya a 70 cm/km. En el tramo comprendido entre Malause y Port-Ste. Marie (aguas abajo de Agen), es ya de sólo 47 cm./km., descendiendo hasta los 31 cm./km. en el último tramo, desde Port-Ste.Marie hasta la Réole, lugar donde comienza a ser efectiva la influencia de las mareas (inicio del estuario de la Gironda).

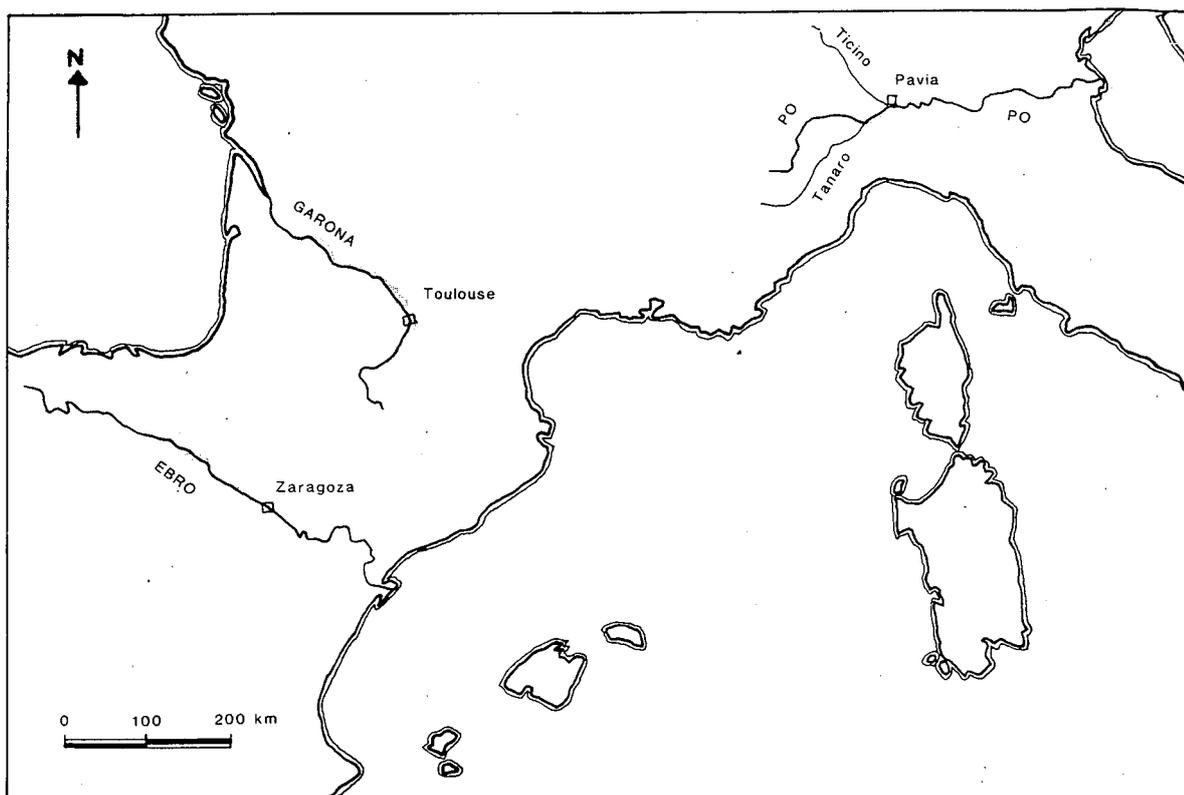


Figura 3. Localización de los tramos estudiados: Ríos Ebro, Garona y Po.

Es preciso especificar que en el trabajo de LALANNE no se ha calculado el índice de sinuosidad. Por su interés comparativo hemos creído conveniente hallarlo, al menos aproximadamente, obteniendo la longitud del valle a partir de cartografía francesa a 1:200.000 (la escala nos obliga a tomar el resultado con precauciones). Se obtiene para el Garona medio un índice de sinuosidad de 1,28, más bajo que el del Ebro pero mayor que el del Po.

En el Garona, las importantes inundaciones de las últimas décadas no han producido variaciones en el cauce, defendido igualmente por diques casi continuos. La morfología del cauce se caracteriza por la laxitud de los meandros y la estabilidad de los riberas, cuyas barras de grava son rápidamente colonizadas por la vegetación.

En comparación con los dos ejemplos expuestos, el río Ebro ofrece el cauce de mayor interés geomorfológico, ya que cuenta con el índice de sinuosidad más

alto y ha experimentado variaciones más recientes, tanto por evolución de meandros como por corta de los mismos, presentando todavía una mínima capacidad de cambio. A pesar de que su antropización actual es muy elevada y se encuentra prácticamente encauzado, su estado desde este punto de vista no es tan agónico como en los casos del Po o Garona, donde desde hace varias décadas no se registra una evolución natural del cauce. En el caso del Po, el ejemplo más antropizado, hay que remontarse en 1852 para encontrar una sinuosidad similar a la del Ebro en 1981.

No se ha obtenido la sinuosidad para el cauce del Ebro en distintas fechas por la dificultad de localizar fotografías aéreas o cartografía que abarquen el conjunto del curso medio. En todo caso, atendiendo a las cortas de meandros de que tenemos referencia, pensamos que la sinuosidad ha descendido en líneas generales entre 1927 y 1986 (fechas del primer y último vuelo realizados sobre el valle), aunque no de forma tan brusca como en el Po, y con sucesivos altibajos. Ello se debe precisamente a que la evolución del Po ha sido artificial mientras en la del Ebro el propio río ha sido el principal motor del cambio, con sucesivas variaciones espaciales y temporales provocadas por aumentos de la sinuosidad debidos al desarrollo de los meandros frente a descensos causados por las cortas.

7. Conclusiones

-Atendiendo a los valores de pendiente y sinuosidad calculados para los 22 sectores en que se ha dividido el Ebro medio, encontramos variaciones espaciales muy destacadas. La pendiente media de todo el tramo es de 66,6 cm./km., con valor máximo de 131,4 cm./km. entre Mendavia y Lodosa y mínimo de 35,2 cm./km. entre Alagón y Alfocea. Por su parte, el índice de sinuosidad medio es de 1,466, con un máximo de 1,92 en el sector Gallur-Alagón y un mínimo de 1,12 entre El Cortijo y Logroño.

-Si bien existen ejemplos que muestran que la pendiente es factor de la sinuosidad (a menor pendiente mayor sinuosidad), la correlación llevada a cabo entre ambos parámetros no resulta aceptable. Ello se debe, por un lado, a la escasez de datos topográficos con los que hemos contado para realizar el cálculo, y, por otro, a la intervención de otros factores que pueden ser más decisivos en la sinuosidad del cauce que la propia pendiente: rupturas de equilibrio por cortas, correcciones artificiales, cambios de dirección del valle, etc.

-Respecto a los tipos de canal del Ebro medio, la heterogeneidad es también importante. Los modelos recto y braided presentan ejemplos muy puntuales, mientras los tipos predominantes son el de transición recto-meandriforme, preferentemente en sectores de estrechez del valle y pendiente alta, y el meandriforme bien desarrollado, que se extiende sobre una llanura de inunda-

EL RIO EBRO

ción amplia y de baja pendiente entre Novillas y Gelsa. A este modelo le resulta imposible aproximarse al sinuosidad ideal, bien por las numerosas cortas, bien porque en varios sectores el cauce discurre adosado al escarpe que limita el valle.

-De la comparación entre Ebro, Garona y Po podemos destacar el hecho de que en los tres casos la sinuosidad y la existencia de cambios de trazado del cauce han decrecido con el tiempo, como consecuencia de la progresiva antropización. El Ebro es el caso menos antropizado, presentando una sinuosidad mayor y manteniendo todavía una mínima capacidad de cambio.

Bibliografía

- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO, 1981.- *Plan de Defensa contra las avenidas del Ebro en su curso medio* (2 fases).
- DUTTO, F., 1987.- *La piana alluvionale del Fiume Po tra F. Tanaro e F. Ticino: studio geomorfologico e idrometrico finalizzato alla definizione delle aree allagabili*. Tesis de laurea, Universidad de Torino, 249 págs. (no publicada).
- LALANNE-BERDOUICQ, G. et al., 1989.- *Monographie des crues de la Garonne*. SMEPAG, 168 P. + anexes.
- LALANNE-BERDOUICQ, G. et al., 1989.- *Atlas hydraulique de la Garonne*. SMEPAG. 82 cartes.
- LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. & MILLER, J.P., 1964.- *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman, 522 págs., San Francisco.
- OLLERO OJEDA, A., 1989.- *Estudio ecogeográfico de los meandros del Ebro en el sector Rincón de Soto-Novillas*. Memoria de licenciatura (inérita). Universidad de Zaragoza, 454 págs. + cartografía.
- PELLICER CORELLANO, F. y OLLERO OJEDA, A., 1987.- Dinámica de los meandros del Ebro en la Rioja Baja (sector Alfaro-Arguedas). *Actas X Congreso Nacional de Geografía*, I, 57-66, Zaragoza.
- RICHARDS, K., 1982.- *Rivers. Form and processes in alluvial channels*. Methuen, 358 págs., London.

