

*Parámetros morfométricos e hidrológicos
de las cuencas de drenaje y ríos tributarios a la ría
de Vigo. Estimación de las variaciones anuales
en las cargas en suspensión y en disolución.*

*Morphometric and hydrologic parameters of catchments
and tributary rivers entering the ria de Vigo. Estimations
on annual runoff, suspended and dissolved loads.*

M. PÉREZ-ARLUCEA¹; M. FILGUEIRA²; M. FREIJIDO¹ y G. MÉNDEZ¹

¹ Dpto. de Geociencias Marinas y Ordenación del Territorio, Facultad de Ciencias,
Universidad de Vigo. 36.200 Vigo, Pontevedra.

² Dpt. of Geosciences, University of Nebraska, 214 Bessey Hall,
P.O. Box 880340, Lincoln, NE, USA.

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo durante un periodo de 14 meses para determinar la contribución de algunos de los ríos principales a la sedimentación y evolución morfológica de la ría de Vigo. El principal objetivo ha sido realizar una estimación de la variabilidad volumétrica de los aportes de partículas en suspensión y carga en disolución. Aparte del río Verdugo en la cabecera de la ría, existen otros 35 ríos menores, de los cuales se seleccionaron 19 para realizar este estudio. Los criterios de selección de los ríos fueron su carácter permanente y el tener una descarga mínima estimable durante todo el año. La vertiente norte de la ría comprende 16 áreas de drenaje y la vertiente sur 19. Las áreas no incluidas dentro de las redes de drenaje suponen un total del 7%. En estas zonas domina la escorrentía superficial de tipo difuso y el transporte en masa. Existe una correlación lineal entre la descarga media de los ríos y el área de drenaje. El área ocupada por la ría de Vigo (AB) es de aproximadamente 148 km² definiendo un índice AD/AB de 4.8 cuando se compara con el área total de drenaje AD. Las fluctuaciones en la etapa presentan una co-

relación con las variaciones estacionales en las precipitaciones. A pesar de su pequeño tamaño los ríos transversales representan una contribución importante (>30%) de la cantidad total de agua dulce que entra en la ría por escorrentía superficial, ya que existe un elevado número de corrientes. La carga en suspensión de los ríos presenta concentraciones bajas y muestra una correlación positiva de tipo potencial con respecto a la carga en disolución. La carga en disolución es muy variable y presenta una tendencia opuesta a la carga en suspensión con respecto a las fluctuaciones en la etapa. A mayor descarga se observa una disminución de la carga de suspensión debido a un efecto de dilución producido al aumentar el volumen de agua en el medio. La relación es lineal en casi todos los casos estudiados. La contaminación producida por procesos antrópicos (agricultura, obras de construcción, etc) y la presencia de microorganismos pueden contribuir notablemente a la cantidad de carga total que entra en la ría, pudiendo ser responsables de la alta dispersión de datos y a los bajos índices de correlación obtenidos. Se ha calculado el flujo de sedimentos en varios ríos seleccionados. Algunos de los valores obtenidos (carga en suspensión y disolución respectivamente) son los siguientes: Lagares (7226 y 23122 t/año), Miñor (965 y 5200 t/año), Verdugo (1876 y 28253 t/año) y Fraga (59 y 526 t/año).

Palabras clave: Geomorfología, cuencas de drenaje, escorrentía superficial, flujo de sedimentos, carga en suspensión, carga en disolución.

ABSTRACT

The present study was carried out over a period of 14 months to ascertain the contribution of the rivers to the sedimentary and morphological evolution of the ría de Vigo. The aim was to characterise the volumetric variations of the fluvial sediment input. Apart from the Verdugo River at the head, 35 smaller streams enter the ría. 19 were selected for this study, on the basis of having permanent flow during all the year and a minimum measurable discharge. There are a total of 36 individual drainage catchments (one at the head of the ría, 19 at the south slope and 16 at the north) and several non-channelised areas (which are about the 7% in area) in which diffusive runoff and mass wasting processes dominate. There is a linear correlation between the average river discharge and catchment area. The area occupied by the ría de Vigo is approximately 148 km², defining an AD/AB index of 4.8 when compared to the drainage area. Stage fluctuations correlate with seasonal variations in precipitation. In spite of being small the transverse rivers contribute substantially (>30%) to the total amount of fresh water and sediment load to the ría, due to a high number of rivers present. Suspended load concentrations are low in general and show a positive power correlation with the dissolved loads. Dissolved loads are highly variable and seem independent of the suspended load trends, showing a negative linear correlation with stage. This trend could be explained as a dilution effect

of the load as the total runoff increases. Local pollution due to farming and the presence of organic matter (algae) may be important controls on total load amounts, probably being responsible for the high scatter of data and low correlation indexes.

Suspended load fluxes have been calculated in several rivers considering suspended and dissolved load concentrations and average discharge. Some values are: Lagares (7226 and 23122 t/a), Miñor (965 and 5200 t/a), Verdugo (1876 and 28253 t/a) and Fraga (59 and 526 t/a). In all the examples the dissolved loads are much higher than the suspended loads.

Key words: Geomorphology, drainage catchments, runoff, sediment flux, dissolved load, suspended load.

INTRODUCCIÓN

Las rías han sido objeto de interés desde comienzos de siglo, cuando por primera vez comenzó a discutirse su origen como valles fluviales inundados. Los primeros artículos publicados sobre estos problemas corresponden a Scheu (1913), Texeira (1944) y Carlé (1947) entre otros. El origen del debate se centra en diversos datos aparentemente contradictorios, como son el hundimiento de los valles de los ríos principales en su parte occidental, que habría dado lugar a las rías, y otro tipo de datos que apuntan a la elevación de la costa, como es la presencia de playas levantadas en las costas gallegas. Un problema adicional a considerar es el de la influencia de los cambios climáticos en la morfología costera, sobre todo en cuanto a la erosión producida en las etapas glaciales y el relleno de las cuencas durante las etapas postglaciales, y los cambios del nivel del mar asociados con la evolución climática durante el Cuaternario. Pannekoek, en su estudio *The ría problem* (1966) y otros posteriores, propuso una evolución mixta en la que se asume la presencia de redes fluviales antecedentes atravesadas por una zona de falla subsidente paralela a la costa y la elevación de las zonas montañosas durante el Plioceno. Los cambios climáticos del Pleistoceno modelarían las rías hasta su presente estado, siendo el ascenso del nivel del mar el responsable último de la inundación de los valles y la formación final de las rías. Los estudios recientes en las Rías Bajas apoyan este esquema evolutivo (Pazos et al., 1994; García Gil et al., 1999).

Los estudios de las rías comprenden hoy día diferentes aspectos, como los estructurales, geomorfológicos, hidrológicos y sedimentológicos. En este artículo se lleva a cabo un estudio geomorfológico e hidrológico de las cuencas de drenaje y ríos tributarios a la ría de Vigo (Fig.1), Pontevedra, la más meridional de las rías bajas. Se presentan datos sobre los cambios estacionales en las etapas de los ríos y sus variaciones en la carga en suspensión y disolución de acuerdo con las variaciones en la profundidad relativas a los cambios en la etapa. Se pretende también estimar la importancia relativa de los diferentes ríos en su contribución potencial al aporte de sedimentos a la Ría de Vigo.



FIG. 1.—Situación geográfica de la Ría de Vigo. En el esquema se muestra el área de drenaje y los principales ríos que vierten a la ría.

FIG. 1.—Geographic sketch showing the ría de Vigo, the catchment and the main tributary rivers.

METODOLOGÍA

De los 35 ríos que desaguan en la ría, se han seleccionado 19 para su estudio hidrológico de acuerdo con los siguientes criterios: (1) dimensiones; (2) flujo permanente durante todo el año y (3) descarga mínima estimable por métodos directos. Aparte de algunos de los ríos más importantes, sobre todo los que poseen embalses, no existen estaciones de aforo en uso permanente. Por tanto, es prácticamente imposible obtener las condiciones hidráulicas a largo plazo a partir de datos históricos, como variaciones en el caudal y profundidad de los ríos, tiempos de recurrencia de inundaciones, descargas y etapas máximas, etc. Debido a este problema y, para solventar en parte estas deficiencias, se establecieron estaciones de aforo en cada uno de los ríos seleccionados y se obtuvieron medidas semanales en las variaciones de la etapa de los ríos seleccionados, durante un periodo de 14 meses, desde mayo de 1997 a julio de 1998. El criterio establecido para fijar las estaciones de aforo fue seleccionar un punto del

cauce donde se recogiera la mayor cantidad de flujo posible evitando la influencia de las mareas, por lo que estas estaciones se localizaron a cierta altura y distancia de la costa. Las medidas de etapa se realizan desde la superficie del agua hasta una marca fija situada en una posición independiente del canal (generalmente un puente o un muro), con objeto de establecer los cambios absolutos en el nivel del agua no dependientes de potenciales cambios en el fondo provocados por sedimentación o erosión en el cauce.

Conociendo las variaciones en la etapa se estimaron los caudales de los ríos, mediante medidas directas de la velocidad de la corriente con un correntímetro de hélice, a lo largo de una sección transversal del canal. Estas medidas se realizaron con diferentes condiciones en la etapa a lo largo del año. Las secciones de los ríos se estimaron con una brújula taquimétrica y un jalón. Con los datos de etapa y descarga se construyen las curvas de tasación que permiten convertir un valor determinado de etapa, fácil de medir, en valores de descarga.

Para la determinación de las concentraciones de cargas en suspensión y disolución se realizaron muestreos semanales del agua de los ríos utilizando una botella de muestreo que permite la recogida de agua de toda la columna. Las muestras obtenidas se filtraron en el laboratorio para separar la carga en suspensión (filtros Whatman de 0,45 mm). La composición mineralógica y química de las cargas en suspensión y disolución están actualmente en estudio.

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LAS CUENCAS DE DRENAJE Y DE LOS SISTEMAS FLUVIALES

CUENCAS DE DRENAJE

El área de drenaje de la Ría de Vigo tiene unos 709 km² (Tabla 1). Su forma es rectangular alargada, con el eje mayor orientado en una dirección aproximada NE-SW, siguiendo la dirección principal de los ríos de cabecera, Verdugo y Oitavén, que confluyen unos 4,5 km aguas arriba de su desembocadura en la Bahía de San Simón (Fig.1). El área total de la ría es de unos 149 km² y, por tanto, el índice AD/AB es de aproximadamente 4,8 (AD es el área de drenaje y AB el área de la cuenca inundada que forma actualmente la ría).

La cuenca de drenaje de cabecera, que corresponde a los ríos Verdugo y Oitavén, es la más grande. Su área es de 323 km², constituyendo aproximadamente el 45% del total. Aparte de la cuenca principal de cabecera, se puede separar un total de 35 cuencas de drenaje en los dos márgenes de la ría (Fig. 2), 19 en el sur y 16 en el norte. La mayor parte de estas cuencas forma un mosaico de pequeñas áreas de drenaje transversales al eje principal de la ría en los márgenes N y S de la misma. Aparte de las cuencas del Miñor (75,6 km²) y del Lagares (69,3 km²) se trata de cuencas pequeñas, que en general no superan los 30 km², con valores típicos entre 1 y 10 km² (ver Tabla 1). Las redes de drenaje de las dos vertientes de la ría de Vigo son muy asimétricas. La margen sur es más

Tabla 1. Cuencas de drenaje (ver posición geográfica en Fig. 2).

Nº	Cuenca	A(km ²)	Nº	Cuenca	A(km ²)
1	Tres Regueiras	6,3	20	V.18N-Ulló	13,9
2	V.1S - Baíña	7,4	21	Rego das Veigas	7,3
3	Guillade	4,3	22	V.16N - Tuimil	4,3
4	V.3S-da Groba	17,7	23	V.13N- da Vella/Maior	9,9
5	V.4S-Miñor	75,6	24	V.12N- Minuova	4,1
6	V.5S-Muíños	19,4	25	da Freixa	3,0
7	S/N	1,4	26	Barranco do Faro	3,4
8	S/N	1,2	27	da Fraga	8,3
9	Rego do Charco	1,6	28	V.8N - do Inferno	6,5
10	Rego do Bao	6,1	29	Rego Saíñas/Redogres	3,2
11	V.9S y V.9Sb - Lagares/Rega	69,3	30	V.6N - das Presas	7,8
12	S/N	1,9	31	S/N	0,6
13	V.10S - Pugariño	1,2	32	Postillón	1,7
14	S/N	2,5	33	Nerga2	0,9
15	V.12S - Fondón	3,3	34	Nerga	0,4
16	Rego das Cabras	0,84	35	Donón	2,1
17	S/N	1,0	-	Zonas de escorrentía difusa	48,4
18	V.14S y V.15S - Maceiras/Alvedosa	31,7			
19	V.16S - Pexegueiro	7,8			

Zonas principales	A(km ²)	%	
Área de drenaje, zona Norte	97	25	Área de drenaje total (km ²) 709,4
Área de drenaje, zona Sur	289,4	75	Ría de Vigo (km ²) 148,5
Total:	386,4	47,7	
Cuencas de drenaje	338	7,0	
Zonas de escorrentía difusa	48,4	45,3	
C. de Cabecera (Verdugo-Oitavén)	323,0		Relación AD/AB 4,8

TABLA 1.—Relación de las cuencas de drenaje de los ríos tributarios a la ría de Vigo y sus áreas correspondientes (km²). En la parte inferior de la tabla se muestran los valores de las áreas de drenaje de las zonas principales de la ría, áreas totales y relación AD/AB, donde AD es el área total de drenaje y AB es el área de la ría de Vigo.

TABLE 1.—Areas (km²) of the catchments surrounding the ría de Vigo. At the lower part of the table the areas for different sectors are indicated and also the AD/AB relation (AD: drainage area; AB: basin area corresponding to the Ría de Vigo).

extensa y los cauces fluviales son más largos, sobre todo entre las localidades de Vigo y Baiona.

Cerca de la costa existen también áreas que no presentan cauces bien definidos drenando hacia el río principal de las cuencas. Estas áreas, de escorrentía difusa, suponen cerca del 7% del área total de las márgenes de la ría (Fig. 2).

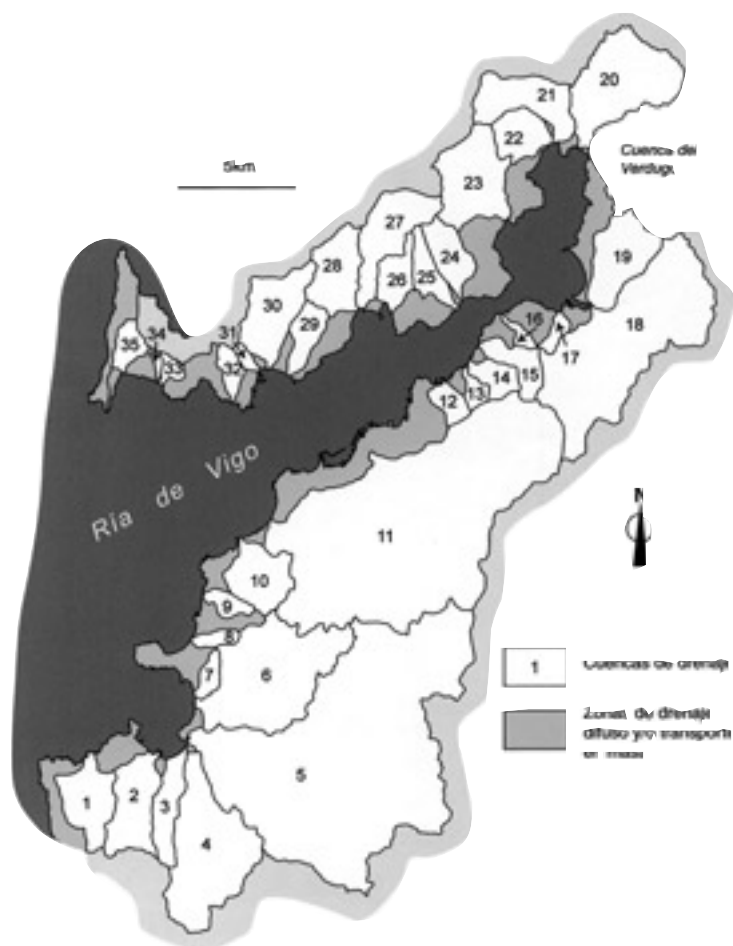


FIG. 2.—Cuencas de drenaje de los ríos tributarios a la Ría de Vigo y zonas de escorrentía difusa. La información sobre las diferentes cuencas de drenaje, que aparecen marcadas con un número se puede consultar en la Tabla 1.

Individual catchments for the tributary rivers entering the ria and diffusive runoff areas. For more information on the catchments and nomenclature see Table 1.

PERFILES LONGITUDINALES DE LOS RÍOS

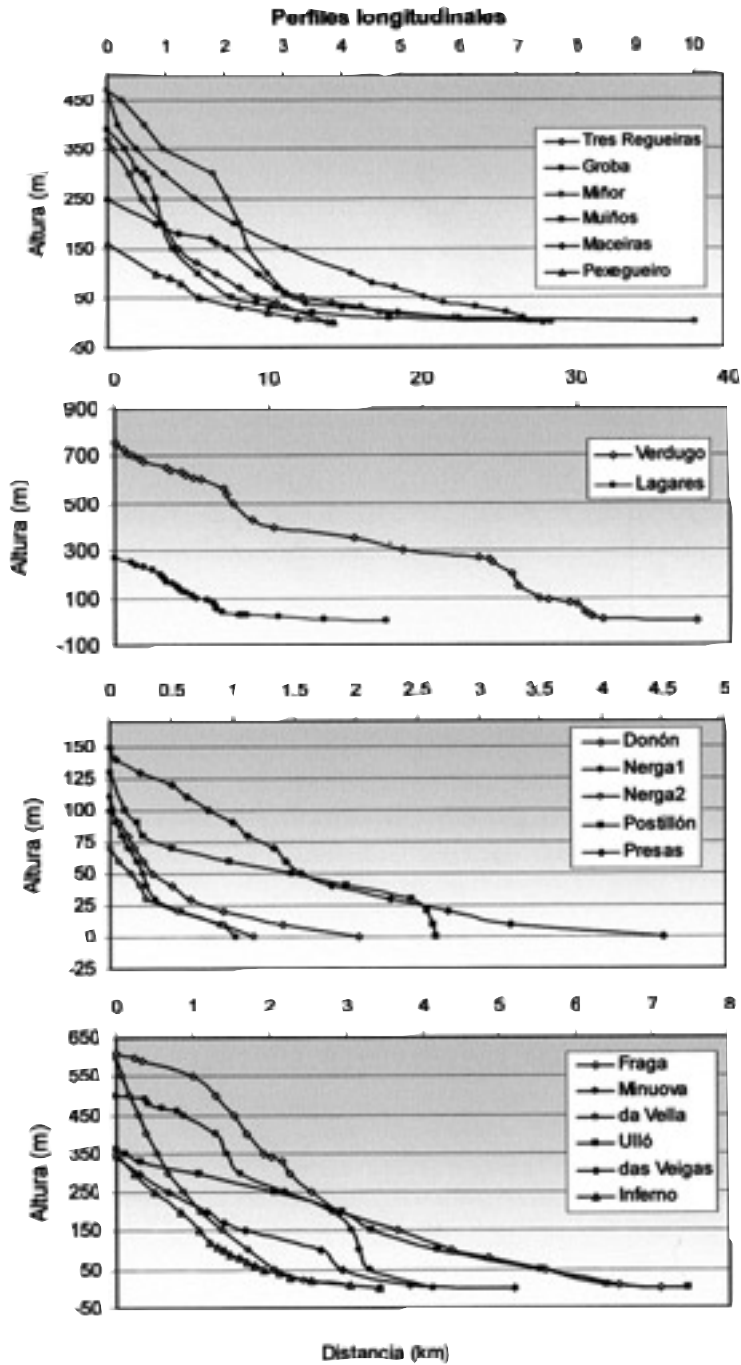
La ría ocupa aproximadamente el 60% de la longitud total de la envolvente de las cuencas de drenaje en el extremo occidental en su eje mas largo. Las divisorias de aguas situadas entre las rías presentan altitudes elevadas en zonas muy próximas a la costa, estando comprendidas entre 100 m y cerca de los 600 m. En la zona de cabecera de la cuenca del Verdugo-Oitavén la altitud es superior a 750 m.

Los ríos Verdugo y Oitavén, en la cabecera de la ría, tienen una longitud total de 37,9 km. Estos ríos, longitudinales o subparalelos a los ejes de las rías son los que concentran una mayor descarga y constituyen los principales aportes de agua dulce a las rías. La red de drenaje transversal a las rías, presenta cauces con ángulos de incidencia altos, próximos a los 90° respecto al eje principal de la ría. El río Lagares, en las proximidades de Vigo (11, Fig.2), el Zamáns (cuenca del Miñor, 5, Fig.2) y el Ulló (20, Fig.2) son algunas excepciones, presentando una tendencia bastante marcada en su recorrido a situarse de forma casi paralela a la Ría de Vigo. En la zona sur los ríos más importantes, en cuanto a su tamaño y descarga son el Lagares (17,6 km) y el Miñor (10 km). En la parte norte de la ría, la longitud de los ríos rara vez supera los 5 km., siendo la media de unos 2,5 a 3,0 km (Fig.3).

De acuerdo con los trabajos geomorfológicos recientes realizados en las rías gallegas (ver Pagés y Vidal Romaní, 1997; Pagés y Vidal Romaní, 1998; Pagés, Vidal Romaní y Alonso, 1998) existe un control importante de la litología y la estructura tectónica sobre la distribución y morfología de las redes de drenaje. La litología proporciona una mayor o menor resistencia a la erosión y los ríos tienden a encauzarse por las zonas más fácilmente erosionables. Los contactos litológicos en la zona Sur-occidental de Galicia transcurren con direcciones aproximadas N-S. Muchos de los pequeños ríos de la red transversal y tributarios de los ríos mayores, en la Ría de Pontevedra, de la vertiente N de la Ría de Vigo y al S de la Bahía de Baiona siguen esta dirección (Figs. 1 y 2). Por otra parte el control estructural se manifiesta en una red de fracturas que proporcionan zonas débiles frente a la erosión. En este caso es la red de fracturación tardihercínica de dirección N-S y NE-SW la que condiciona en parte el curso de la red fluvial y posiblemente reactivaciones más recientes de estas estructuras, posiblemente en el caso del Zamáns, Lagares y Ulló.

Los perfiles longitudinales de los ríos están muy desajustados de un perfil de equilibrio cóncavo típico, como se puede observar en los ejemplos representados en la figura 3. Es muy notoria la presencia de varios escalones a lo largo del curso de los ríos. Por ejemplo, el Verdugo presenta tres escalones bien marcados: uno próximo a los 100 m, otro cerca de los 300 m y el último próximo a los 600 m de altura. El perfil del Río Lagares muestra un escalón prominente a los 100 m de altura y el del río Miñor a los 300 m. Pagés (1996) atribuye el escalonamiento de los ríos gallegos a varias causas, ligadas a factores geológicos, como presencia de superficies de aplanamiento, procesos de captura y contrastes litológicos transversales con rocas de resistencias a la erosión diferentes. Los ríos transversales también están escalonados, aunque los perfiles son muy variados. Por ejemplo, el río da Groba, en la bahía de Baiona al sur de la ría de Vigo, presenta un perfil cóncavo sin escalonar. Este río transcurre paralelamente a la banda de dirección N-S de esquistos y pizarras silúricas, fácilmente erosionables.

FIG. 3.—Perfiles longitudinales de algunos de los principales ríos que desembocan en la Ría de Vigo.
FIG. 3.—Longitudinal profiles of some of the main studied rivers.



HIDROLOGÍA

Se han realizado medidas semanales durante los 14 meses de seguimiento de las variaciones en la etapa de los ríos principales seleccionados. Estos datos se han utilizado para calcular las variaciones en la profundidad de los canales (Fig.4). Las secciones de los canales son muy estables no habiéndose registrado importantes cambios naturales entre el fondo del canal y la marca correspondiente a la etapa. Sin embargo, algunos ríos, como el Pugarriños y a Groba han sido modificados mediante obras recientemente. Todos los ríos muestran importantes fluctuaciones estacionales en la etapa, presentando una tendencia semejante en todos los casos (Fig.4). En general se observa una etapa de estiaje con aguas bajas desde junio a septiembre y dos fases de etapa alta correspondientes a noviembre-enero y abril. Estas etapas responden a variaciones estacionales en la pluviometría (datos del C.M.T. de Galicia). Las fluctuaciones menores presentan una mayor variación de un río a otro, de acuerdo con las condiciones pluviométricas locales. Es difícil realizar estimaciones a largo plazo de la media de las descargas de las redes fluviales que desembocan a las rías. Esto se debe a que no existen datos históricos de medidas directas basados en estaciones de aforo permanentes. Los datos existentes son puntuales y se deben a trabajos parciales. Gran parte de estos datos está recogida en el volumen *As augas de Galicia* publicado por el Consello da Cultura Galega en 1996. La mayor parte de los datos de descarga existentes se basan en cálculos teóricos en referencia a los tamaños y retención de las cuencas de drenaje y datos pluviométricos, aunque también existen datos de medidas directas (Nombela, 1989; Prego *et al.*, 1990; Ríos *et al.*, 1992; Alejo, 1994; Pazos *et al.*, *in litt.*). Desgraciadamente los datos meteorológicos disponibles son también incompletos y tienen un uso restringido en las estimaciones medias de la escorrentía superficial en los últimos años. Las estimaciones de la descarga del río Verdugo varían entre 13 y 17 m³/s. Los ríos secundarios presentan descargas pequeñas, variables entre 0,05 y unos 3,0 m³/s. En la Tabla 2 se presentan algunos ejemplos de descargas medias. La descarga media (Q) de los ríos presenta una relación lineal con el área (A) de la cuenca en la forma: $Q \approx 0,05A-03$ (Fig. 5). Considerando que existen 35 ríos tributarios de la red transversal desembocando en la ría de Vigo, la descarga total adicional de estos ríos en conjunto, aún siendo relativamente pequeños, puede suponer una cifra no desestimable a la hora de establecer el balance de agua dulce que entra en la ría y que puede suponer entre un 30 y un 40% del flujo total.

FIG. 4.—Variaciones semanales de la etapa desde abril de 1997 a Septiembre de 1998. Los datos de etapa vienen expresados como variaciones en la profundidad de los ríos.

FIG. 4.—Weekly stage changes from April 1997 to September 1998. Stage data are expressed as river depth fluctuations.

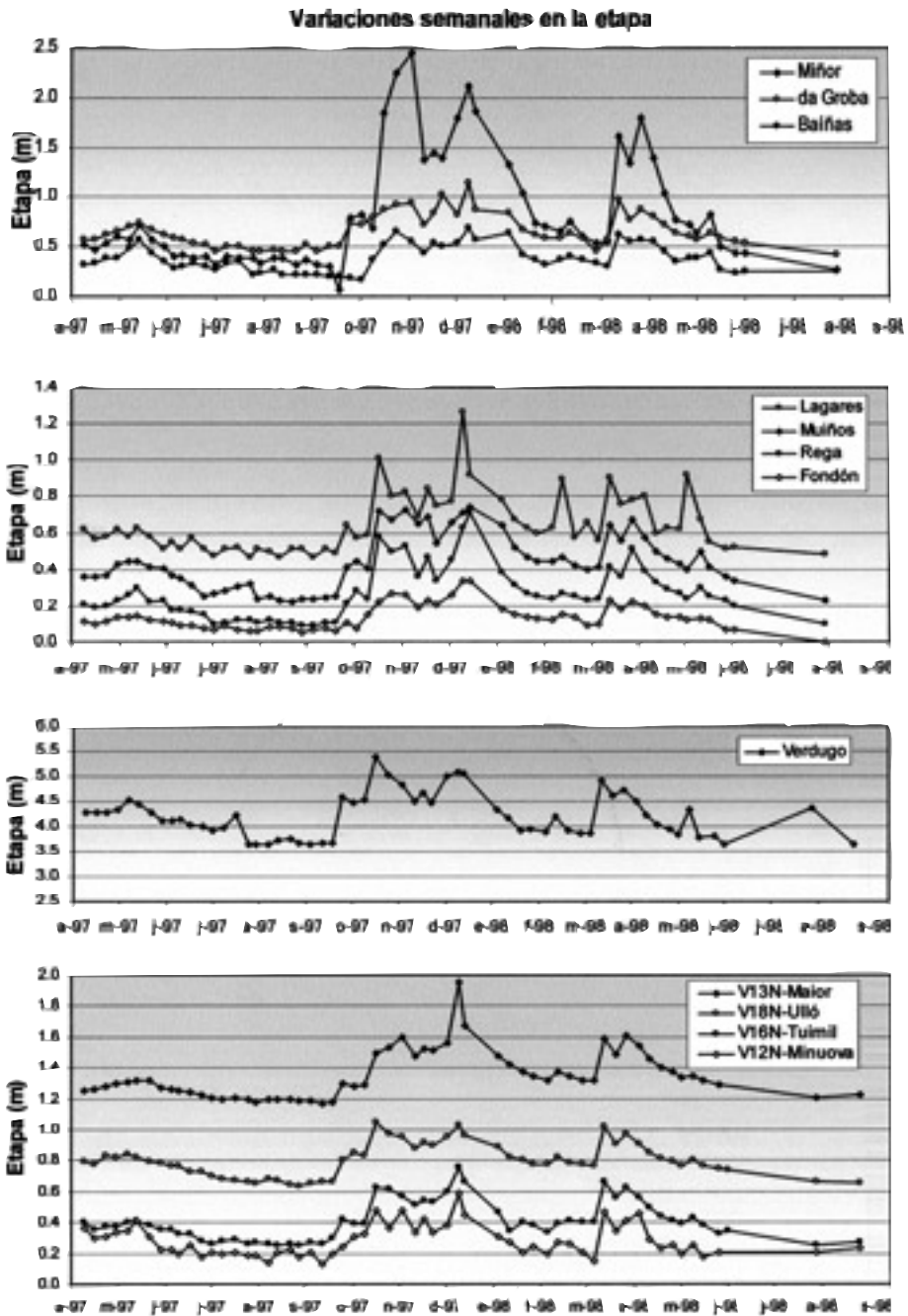


Tabla 2. Datos correspondientes a la Fig.5: A: área de la cuenca; Q: caudal.

Cuencas	A (km ²)	Q(m ³ /s)	Otros datos
<i>Baiña</i>	6,3	0,06	
<i>da Groba</i>	17,7	0,58	
<i>Muñños</i>	19,4	0,30	
<i>Fondón</i>	3,3	0,17	
<i>Maceiras/Alvedosa</i>	31,7	1,40	<i>Río (1996)</i>
<i>Maior</i>	9,9	0,35	
<i>Minuova</i>	4,1	0,27	
<i>da Fraga</i>	8,3	0,33	
<i>Inferno</i>	6,5	0,19	
<i>Presas</i>	7,8	0,19	
<i>Ulló</i>	13,9	0,70	
<i>Lagares</i>	69,3	3,20	<i>Río (1996)</i>
<i>Miñor</i>	75,6	1,70	<i>Fraga (1996)</i>
<i>Verdugo/Oitavén</i>	146,0	6,40	
<i>Oitavén</i>	177,0	10,6	<i>López Jurado (1985)</i>

TABLA 2.—Datos de áreas de algunas de las cuencas de drenaje (km²) frente a los valores de descargas de sus ríos correspondientes (m³/s) representados en la gráfica de la figura 5.

TABLE 2.—Catchment areas (km²) and the corresponding measured discharges (m³/s) of several rivers represented in a graph (Fig 5).

APORTES

El aporte total de partículas sólidas a las rías es muy bajo, tanto como carga en suspensión como en carga de fondo. La mayor parte de los ríos presenta cantos y bloques en el lecho. Los cantos sólo se transportan como carga de fondo en condiciones muy excepcionales. Los ríos Miñor, Lagares, Rega, y Presas son los únicos en los que predomina la arena, como carga de fondo (fuera del área influida por las mareas). Dominan los granos de cuarzo y feldespato, siendo las micas y los fragmentos de roca metamórfica localmente muy abundantes. La carga en suspensión se ha estimado mediante un muestreo semanal a lo largo de los 14 meses que duró el estudio. En la figura 6 se representan las variaciones de la carga en suspensión de 4 de los ríos estudiados (Verdugo, Lagares, Miñor y Fraga) con respecto a las fluctuaciones en la etapa. Estas fluctuaciones se establecen mediante un parámetro adimensional (H/Hmax), que representa las variaciones de la profundidad de la sección del canal estudiada en cada aforo (H) dividida por la profundidad máxima (Hmax) observada durante el muestreo, correspondiente a la etapa más alta. De esta forma se pueden comparar ríos de dimensiones muy diversas. La magnitud de las fluctuaciones en la etapa de los ríos estudiados varía considerablemente. En general los ríos pequeños sufren fluctuaciones mayores (Fig.6). Los valores más típicos para la carga en suspensión están comprendidos entre 1 y 10 mg/l. Observando los 4 ríos seleccio-

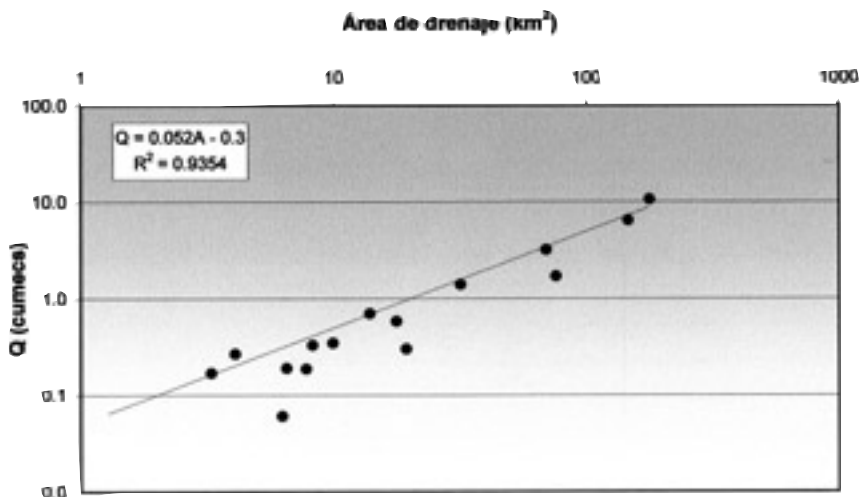


FIG. 5.—Relación entre el caudal medio y el área de drenaje de 15 de los ríos estudiados.
 FIG. 5.—Average discharge/ catchment area relationship on 15 studied rivers.

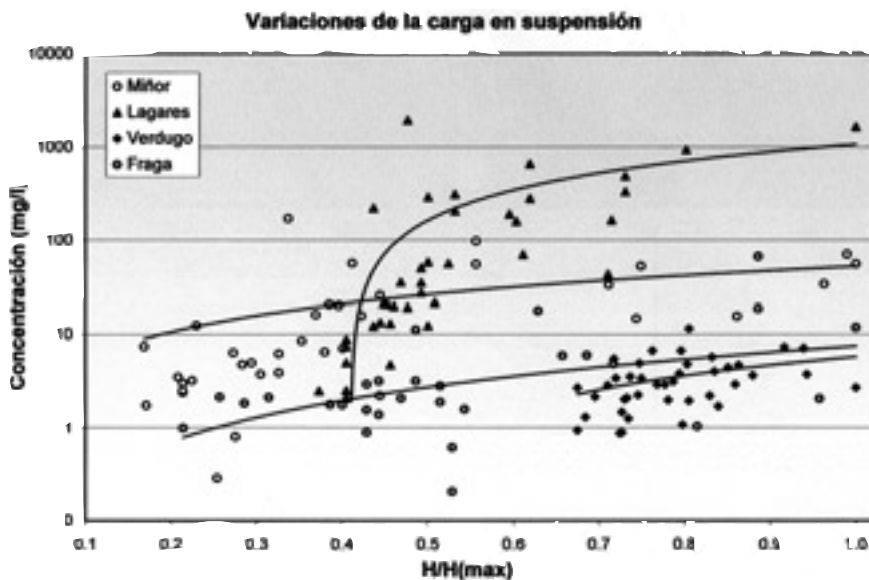


FIG. 6.—Variaciones de la carga en suspensión con respecto a las fluctuaciones en la etapa expresadas como H/Hmax, en cuatro ríos seleccionados. H: profundidad de los ríos. Hmax: profundidad máxima observada durante el muestreo.
 FIG. 6.—Suspended load variations in relation to stage fluctuations expressed as H/Hmax ratio in four of selected rivers. H: river depth; Hmax: maximum depth observed during the gauging period.

nados en la gráfica de la figura 6, Miñor y Lagares en la vertiente S, Verdugo, en la zona de cabecera y Fraga en la vertiente N, se aprecian variaciones importantes de la concentración de material en suspensión con respecto a la etapa de un río a otro. El Lagares presenta las concentraciones más altas, con flujos de carga en suspensión de 7226 t/año, seguidos del Miñor (965 t/año), el Verdugo (1876 t/año) y el Fraga (59 t/año). Si consideramos un flujo medio de material en suspensión a la ría de estos 4 ríos obtenemos unas 10000 t/año, cifra muy elevada en relación con los datos obtenidos por Pazos *et al.* (*in litt.*), para los años anteriores. El río Lagares, que atraviesa la ciudad de Vigo, presenta concentraciones, al menos, un orden de magnitud más que el Miñor. Esta cifra, muy elevada respecto al resto de los ríos, se atribuye en estudios previos (Pazos *et al.*, *in litt.*) a vertidos antropogénicos de la ciudad de Vigo y otras zonas urbanas. Un hecho a tener en cuenta es la construcción de la autovía que une Baiona y Vigo y otras obras en la carretera, que afectaron a la vertiente sur de la ría de Vigo durante el periodo de muestreo.

La carga media en disolución es mayor (en peso por unidad de volumen) que la carga en suspensión en casi todos los casos. Los valores comprendidos entre 10 y 50 mg/l son bastante típicos. La gráfica que relaciona las variaciones en la carga en disolución respecto a las fluctuaciones en la etapa (Fig.7) mues-

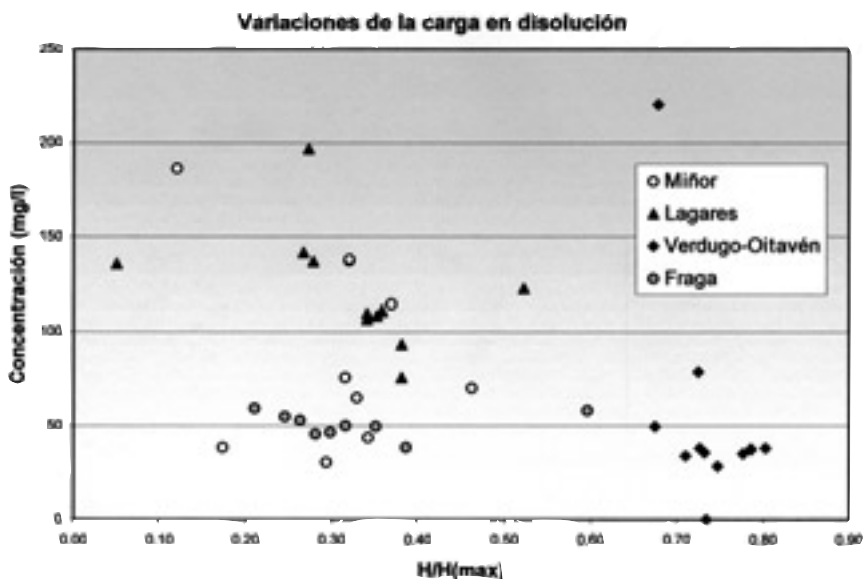


FIG. 7.—Variaciones de la carga en disolución con respecto a las fluctuaciones en la etapa expresadas como H/H_{max} , en cuatro ríos seleccionados. H: profundidad de los ríos. H_{max} : profundidad máxima observada durante el muestreo.

FIG. 7.—Observed dissolved load variations versus main stage fluctuations expressed as H/H_{max} in four of the selected rivers.

tra una dispersión de datos muy alta y unos índices de correlación muy bajos en todos los ríos ($R^2 < 0,5$), sin embargo, en todos los casos la correlación es lineal y negativa. Posiblemente parte de la carga en disolución se deba a la presencia de contaminantes, sobre todo en los casos de los ríos que atraviesan zonas urbanas o zonas de cultivo, aún así la concentración de material disuelto en las aguas de los ríos disminuye sistemáticamente con los aumentos en la etapa. En los cuatro ríos seleccionados el flujo de partículas en disolución es el siguiente: Lagares 23122 ton/año, Miñor 5200 ton/año, Verdugo 28253 ton/año y Fraga 526 ton/año.

CONCLUSIONES

En el área de drenaje de la Ría de Vigo tiene en total 709 km². Se pueden distinguir dos tipos de zonas: (1) cuencas de drenaje con sistemas fluviales jerarquizados que vierten a la ría y (2) zonas no canalizadas de vertido directo, donde domina la escorrentía difusa y, donde localmente (en el caso de los acantilados) el transporte en masa es potencialmente importante. Estas zonas suponen el 7% del área total.

Se pueden separar 36 cuencas de drenaje individuales (incluyendo la del Verdugo). La cuenca más importante, perteneciente a los ríos Verdugo y Oitavén, se sitúa en la cabecera de la ría, (323 km²) y supone aproximadamente el 45% del área de drenaje total. Las otras 35 cuencas corresponden a corrientes menores que forman una red de drenaje transversal a la ría, 19 en la vertiente sur y 16 en la vertiente norte. El área de drenaje de la ría de Vigo es muy asimétrica, siendo la vertiente sur tres veces más grande que la vertiente norte.

En cuanto a la evolución hidrológica de los ríos se observa una etapa de estiaje prolongada en la estación de verano y dos periodos de etapa máxima, uno en noviembre-enero y otro en abril, siguiendo las tendencias pluviométricas estacionales. La descarga media (Q) de los ríos presenta una relación lineal con el área (A) de la cuenca en la forma: $Q \approx 0,05A - 0,3$. Aunque los ríos del sistema transversal son mucho más pequeños que el de cabecera, es importante considerar su elevado número a la hora de establecer el balance de agua dulce y carga de sedimentos que entra en la ría, pudiendo suponer una cifra no desestimable, entre un 30 y un 40% del flujo total. La carga de fondo de los ríos está compuesta mayoritariamente por cantos y bloques y en el menor de los casos por arena. El transporte por carga de fondo es muy limitado.

Se ha calculado el flujo de sedimentos en varios ríos seleccionados. Algunos de los valores obtenidos (carga en suspensión y disolución respectivamente) son los siguientes: Lagares (7226 y 23122 t/año), (965 y 5200 t/año), Verdugo (1876 y 28253 t/año) y Fraga (59 y 526 t/año). Las concentraciones de la carga en suspensión son relativamente bajas, salvo en muestras puntuales. Existe una correlación potencial positiva entre la carga en suspensión y la etapa de los ríos. Los cuatro ríos seleccionados suponen un flujo de partículas en sus-

pensión de unas 10000 t/año, correspondiendo la mayor parte al río Lagares. Un alto porcentaje de esta cifra puede deberse a vertidos antropogénicos de la ciudad de Vigo y otras zonas urbanas y las obras de construcción de la autovía.

La carga en disolución muestra una dispersión de datos muy alta y unos índices de correlación muy bajos en todos los ríos ($R^2 < 0,5$), sin embargo, en todos ellos la correlación es lineal y negativa. Posiblemente parte de la carga en disolución se deba también a la presencia de contaminantes. La concentración de material disuelto en las aguas de los ríos disminuye sistemáticamente con los aumentos en la etapa debido a un efecto de dilución al aumentar la escorrentía. El flujo estimado a partir de los cuatro ríos seleccionados es de unas 56000 t/año, siendo las mayores contribuciones las de los ríos Verdugo y Lagares.

AGRADECIMIENTOS

Este es el trabajo n.º 220 del grupo EX1 de la Universidad de Vigo. Es una contribución a los proyectos REN2000-112 MAR del Plan Nacional de I + D, a los PGIDT00PXI30105PR y PGIDT00MAR30103PR de la Xunta de Galicia, al IGCP 464 de la UNESCO, y *Estudio de la Geomorfología e Hidrología superficial en relación con las tasas de denudación y transporte de sedimentos de las cuencas de drenaje del entorno del campus*, subvencionado por la Universidad de Vigo. Agradecemos a Sandra Rúa y Montserrat Martínez su colaboración en el análisis de muestras en el laboratorio. Agradecemos las sugerencias de los dos revisores de este artículo, J.L. Pagés y J. López Gómez.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEJO, I. (1994): *Estudio dinámico y sedimentario de la Bahía de Baiona*. Tesis Doctoral inédita. Universidad de Vigo, Vigo.
- CARLÉ, W. (1947): Die Westgalicischen Meeresbuchten. *Natur and Volk*, v. 77: 5-14.
- CONSELLO DA CULTURA GALEGA (ed.) (1996): *As augas de Galicia*. 611 p., Consello da Cultura Galega, Santiago.
- FRAGA, F. (1996): *As rías*, In: Consello da Cultura Galega (ed) *As augas de Galicia*, 213-280. Consello da Cultura Galega., Santiago.
- GARCÍA GIL, S., VILAS, F., MUÑOZ, A., ACOSTA, J., UCHUPI, E. (1999): Quaternary sedimentation in the Ría de Pontevedra (Galicia), Northwest Spain. *Journal of Coastal Research*, 15, 4: 1083-1090.
- LÓPEZ-JURADO, J.L. (1985): Notas climatológicas e hidrológicas de las Rías Bajas. *Inf. Téc. Inst. Español Oceanogr.*, 23, p. 1-13.
- NOMBELA, M.A.(1989): *Oceanografía y sedimentología de la Ría de Vigo*. Tesis Doctoral inédita. Universidad Complutense, Madrid.
- PAGÉS, J.L. (1996): *La cuenca del Xallas y su entorno: evolución cenozoica del relieve en el Oeste de la provincia de A Coruña*. Tesis Doctoral inédita. 300 p. Universidad Complutense, Madrid.

- PAGÉS, J.L., VIDAL ROMANÍ, J.R. (1997): Evolución neógena de la cuenca baja del Tambre. *Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe*, 22: 121-132.
- PAGÉS, J.L., VIDAL ROMANÍ, J.R. (1998): La extremidad occidental de la superficie fundamental de Galicia: La Meseta de Santa Comba. *Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe*, 22: 133-149.
- PAGÉS, J.L., VIDAL ROMANÍ, J.R., ALONSO, A. (1998): La red fluvial de la 'Costa da Morte' (A Coruña): Evolución geomorfológica y paisajes asociados. In: A. Gómez Ortiz y S. Franch (Eds.) *Investigaciones recientes de la Geomorfología Española*, 417-424. Barcelona
- PANNEKOEK, A.J. (1966): The Ria Problem. *Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, 83, 3: 289-297.
- PAZOS, O., NOMBELA, M.A., VILAS, F. (*in litt.*): Continental contribution of suspended sediment to a ría: Ría de Vigo. *Scientia Marina*.
- PAZOS, O., VILAS, F., GARCÍA GIL, E., GARCÍA GIL, S., NOMBELA, M.A., ALEJO, I., RUBIO, B., REY, D. (1994): *La costa de rías*: Reunión Monográfica sobre el cambio de la costa: los sistemas de rías. 74 p. Comisión de Estratigrafía de la Sociedad Geológica de España, Vigo
- PREGO, R., FRAGA, F., RÍOS, A. (1990): Water interchange between the Ría of Vigo and the coastal shelf. *Scientia Marina*, 51, 1: 29-33.
- RÍO, X., RODRÍGUEZ LESTEGÁS, F. (1996): Os ríos. In: *As augas de Galicia*. Consello da Cultura Galega. Santiago.
- RÍOS, A., NOMBELA, M.A., PÉREZ, F.F., ROSÓN, G., FRAGA, F. (1992): Calculation of runoff to an estuary. Ría de Vigo. *Scientia Marina*, 56, 1: 29-33
- SCHEU, E. (1913): Die Rías von Galicien, ihr Werden und Vergehen. *Zschr. Ges. Erdk.* 50 p.
- TEXEIRA, C. (1944): Tectónica plio-pleistocénica do noroeste peninsular. *Bol. Soc. Geol. Portugal*, 4, 1-2: 19-40.