

EFFECTO ANTROPICO SOBRE LOS FLUJOS DE N y P EN EL SISTEMA DE AFLORAMIENTO COSTERO DE LA RÍA DE VIGO

Los aportes de nutrientes orgánicos e inorgánicos de nitrógeno (N) y fósforo (P) a la Ría de Vigo, al igual que en cualquier estuario, bahía o entrante costero, provienen de i) el océano adyacente; ii) los ríos que desembocan en ella; iii) la atmósfera, tanto por precipitación como por deposición seca; y iv) los efluentes industriales y urbanos.

La Ría de Vigo es un entrante costero de 176 km² de superficie, 18 m de profundidad media y 3,12 km³ de volumen (**Fig. 1**). Tiene forma de V, haciéndose más ancha y profunda según nos desplazamos hacia la plataforma continental, llegando a tener hasta aprox. 10 km de ancho y 60 m de profundidad. Este tipo de morfología favorece el intercambio de agua con el océano adyacente. Tanto la marea –que presenta un carácter semidiurno, con dos pleamares y dos bajamares por día, con un recorrido que oscila desde aprox. 1 m (en mareas muertas) hasta aprox. 4 m (en mareas vivas) en unos quince días– como el viento local –que suele ser de intensidad menor a 4 m/s en la dirección del eje principal de la ría, bien en sentido entrante, bien en sentido saliente– contribuyen a la circulación de la Ría de Vigo. Sin embargo, su influencia en el transporte de agua y sustancias, tanto disueltas como particuladas, es despreciable frente a la del viento que sopla sobre la plataforma y la de los aportes continentales y atmosféricos.

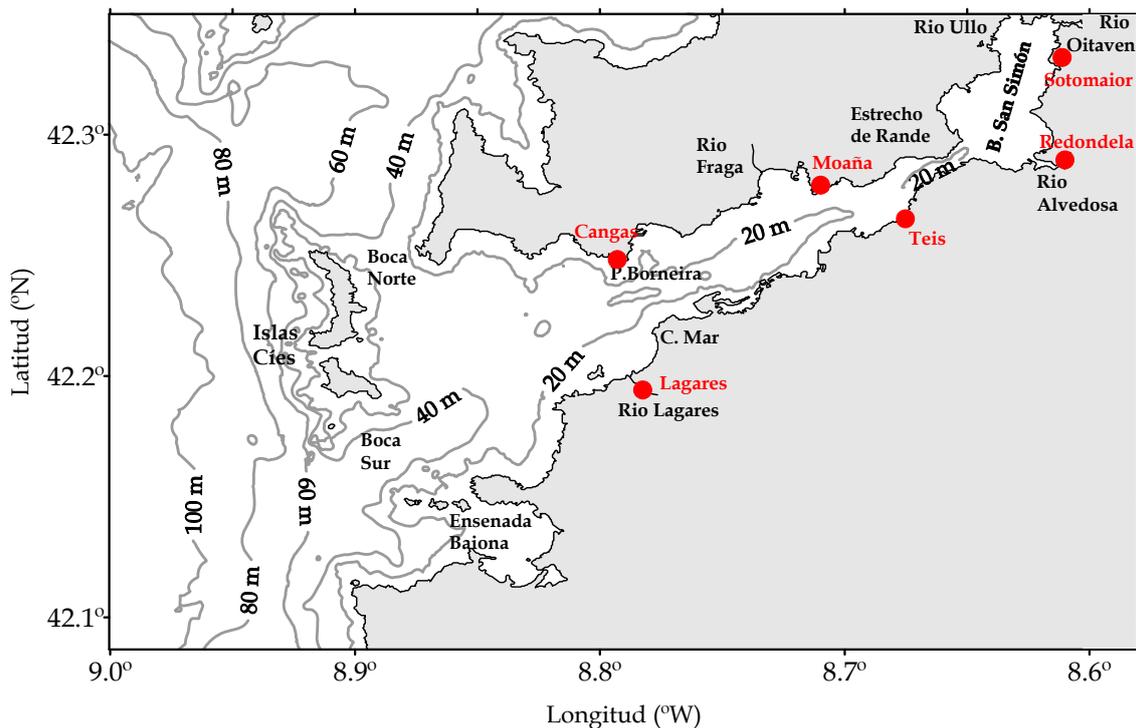


Figura 1. Mapa de la Ría de Vigo, mostrando su batimetría, topografía y la posición de las estaciones de depuración de aguas residuales que vierten en ella.

Dada la orientación de la costa Oeste de Galicia, donde se enclava la Ría de Vigo, cuando sobre la plataforma soplan vientos de componente Nordeste, que dominan entre Marzo y Octubre, impulsan la salida de agua superficial de la ría hacia la plataforma y, por compensación, la entrada de agua de fondo de la plataforma en la

ría (**Fig. 2a**). Por el contrario, los vientos del Sudoeste, que dominan el resto del año, impulsan la entrada del agua superficial de la plataforma en las rías y, por compensación, la salida del agua de fondo de la ría hacia la plataforma (**Fig. 2b**), es decir, producen una circulación residual negativa. En la parte interna de la Ría se sigue manteniendo el patrón de circulación residual positiva.

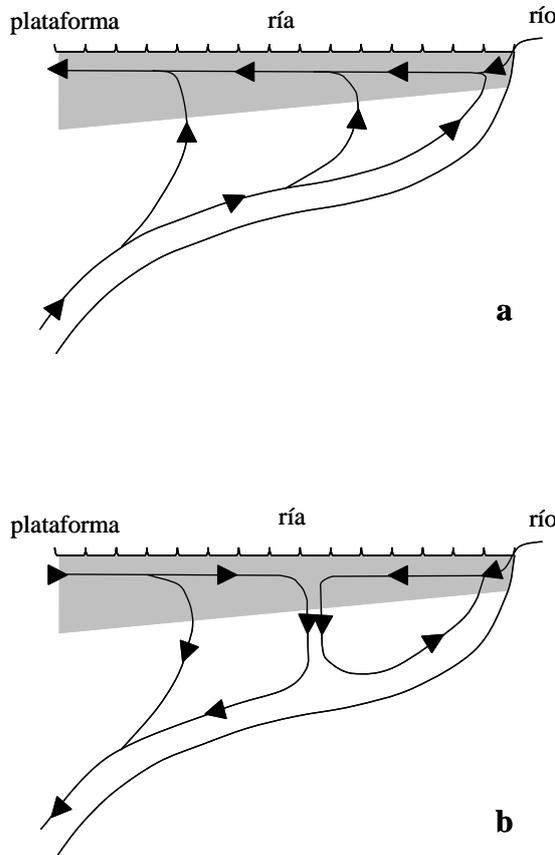


Figura 2. Esquemas de circulación en la Ría de Vigo: (a) circulación residual positiva en respuesta a vientos del Nordeste; y (b) circulación residual negativa, en respuesta a vientos de Sudoeste.

Para evaluar los flujos de nutrientes orgánicos e inorgánicos de N y P a la Ría de Vigo se necesita conocer i) el balance entre los aportes continentales desde las cuencas hidrográficas que drenan en la ría (Q_r), los caudales de aguas residuales tratados por las diferentes EDARs (Q_w) y la precipitación–evaporación ($P - E$) en la superficie de la ría; y ii) los caudales de agua superficial (Q_s) y de fondo (Q_f) intercambiados entre la plataforma continental adyacente y la propia Ría de Vigo (**Fig. 3**).

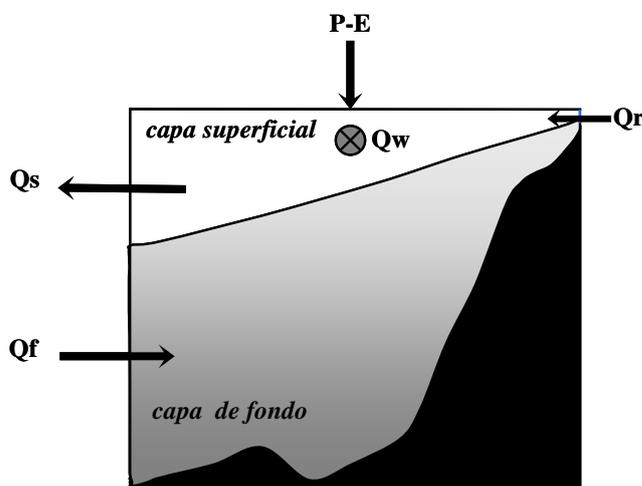


Figura 3. Balance hidrológico de la Ría de Vigo. Se presenta una situación de circulación residual positiva. Q_f y Q_s , caudales de entrada y salida en las capas de fondo y superficial, respectivamente. P , precipitación; E , evaporación; Q_r , caudal del río en la capa superficial; Q_w caudal de aguas residuales en la capa superficial.

En el **Anexo I** se recoge el balance $Q_r + Q_w + P - E$ mensual (en m^3/s) para un año climatológico típico en la Ría de Vigo. Los caudales medios vertidos por las diferentes EDAR en la Ría de Vigo, Q_w , para el año climatológico típico son de $3,23 m^3/s$. En el **Anexo I** también recogen los caudales medios mensuales de agua superficial (Q_s) y de fondo (Q_f) que la Ría de Vigo intercambia con la plataforma continental adyacente (en m^3/s) así como las concentraciones de nitrógeno inorgánico total (NIT) y fósforo inorgánico total (fosfato) en las capas superficial y de fondo de la Ría de Vigo para el año climatológico típico. Aunque respecto de las formas orgánicas de N y P en las capas superficiales y de fondo en la Ría de Vigo se dispone de menos información, pueden establecerse las concentraciones medias recogidas en el **Anexo II**.

Finalmente, en el **Anexo III** se recogen las concentraciones medias anuales de N y P para el Río Verdugo. Las concentraciones medias anuales de N y P total vertidas por las EDARs en la Ría de Vigo son $5,14 \mu mol/m^3/habitante$ de N total (= NIT+NOD+NOP) y $0,59 \mu mol/m^3/habitante$ de P total (= $PO_4+POD+POP$).

Superproblema de la Ría de Vigo

- 1) Calcular el tiempo de renovación de la Ría de Vigo para el periodo Marzo-Octubre del año climatológico típico. Comentar el resultado obtenido.
- 2) Debido al cambio climático, en el lustro 1965-1970 el intercambio de agua entre la Ría de Vigo y la plataforma continental adyacente era de un +25% del año climatológico típico y en el lustro 2000-2005 un -25%. Calcular el tiempo de renovación de la Ría de Vigo para el periodo Marzo-Octubre en ambos lustros. Suponer que no ha habido cambios en el balance $Q_r + Q_w + P - E$. Comentar.
- 3) Calcular los flujos medios de N y P total, es decir NIT+NOD+NOP (en mol N/s) y $PO_4+POD+POP$ (en mol P/s), transportados por Q_s , Q_f , Q_w y Q_r a lo largo de la estación favorable al afloramiento (Marzo a Octubre) en la Ría de Vigo para el año climatológico típico. Suponer que los aportes atmosféricos de N y P son despreciables y que la población típica de la Ría de Vigo son 250.000 habitantes. ¿Cuál es la contribución relativa del océano, los ríos y las aguas residuales a la fertilización de la Ría de Vigo? ¿Cuál es el tiempo de residencia del N y el P en la Ría de Vigo? Comentar.
- 4) Calcular los flujos medios de N y P total, en los lustros 1965-1970 (cuando el intercambio de agua entre la Ría de Vigo y la plataforma continental adyacente era de un +25% del año climatológico típico y la población de la Ría de Vigo era de 150.000 habitantes) y en el lustro 2000-2005 (cuando el intercambio de agua entre la Ría de Vigo y la plataforma continental adyacente era de un -25% del año climatológico típico y la población de la Ría de Vigo era de 500.000 habitantes). Suponer que no hay cambios significativos en los aportes continentales respecto del año climatológico típico y que los aportes atmosféricos son despreciables. ¿Cuál es la contribución relativa del océano, los ríos y las aguas residuales a la fertilización de la Ría de Vigo en los lustros 1965-70 y 2000-05? ¿Cuál es el tiempo de residencia del N y el P en la Ría de Vigo en los lustros 1965-70 y 2000-05?. Comentar.

Anexo I. Promedio mensual (± 1 desviación estándar) de $Q_r + Q_w + P - E$, Q_s , Q_f , nitrógeno inorgánico total (NIT) superficial y de fondo y fosfato (PO_4) superficial y de fondo en la Ría de Vigo.

	Q_r+Q_w+P-E		Q_s		Q_f		NIT superficial		NIT fondo		PO_4 superficial		PO_4 fondo	
	(m ³ /s)		(m ³ /s)		(m ³ /s)		(mmol/m ³)							
	media	STD	media	STD	media	STD	media	STD	media	STD	media	STD	media	STD
Enero	27,8	9,2	3251	2920	-3279	2929	10,01	1,38	6,40	0,80	0,61	0,05	0,52	0,05
Febrero	26,4	6,8	1172	2680	-1198	2687	8,14	1,60	6,02	0,67	0,53	0,06	0,47	0,03
Marzo	21,6	5,7	-982	2471	961	2477	4,31	1,11	6,20	0,78	0,42	0,05	0,47	0,03
Abril	19,0	4,6	-2552	2043	2533	2047	2,60	0,78	6,87	1,02	0,34	0,04	0,52	0,03
Mayo	14,2	3,1	-2356	1496	2342	1499	1,97	0,58	8,23	1,48	0,31	0,04	0,62	0,04
Junio	12,8	3,1	-3794	1231	3781	1234	1,53	0,49	9,62	1,63	0,35	0,04	0,72	0,05
Julio	10,3	2,9	-4303	784	4293	787	1,36	0,46	10,25	1,61	0,40	0,05	0,79	0,05
Agosto	7,5	2,6	-3029	956	3021	958	1,34	0,70	10,69	1,72	0,44	0,07	0,85	0,06
Septiembre	13,9	4,7	-2411	1256	2397	1261	3,17	1,24	11,34	1,89	0,56	0,11	0,89	0,06
Octubre	29,6	8,0	-1087	2258	1057	2266	6,91	1,61	10,01	1,78	0,72	0,10	0,79	0,05
Noviembre	34,4	9,0	1734	3634	-1769	3643	8,88	1,41	7,84	1,25	0,71	0,07	0,63	0,04
Diciembre	29,0	9,3	3802	3476	-3831	3485	9,37	1,11	7,08	1,01	0,64	0,05	0,56	0,05

Anexo II. Concentraciones medias (± 1 desviación estándar) de N y P orgánico, disuelto y particulado, en la capa superficial y de fondo de la Ría de Vigo.

Nutriente		Concentración (mmol/m ³)	
		superficie	fondo
Nitrógeno orgánico disuelto	NOD	6,2 \pm 1,2	4,9 \pm 0,9
Nitrógeno orgánico particulado	NOP	3,3 \pm 2,4	1,7 \pm 0,7
Fósforo orgánico disuelto	POD	0,20 \pm 0,07	0,12 \pm 0,06
Fósforo orgánico particulado	POP	0,23 \pm 0,17	0,16 \pm 0,08

Anexo III. Concentraciones media anuales (± 1 desviación estándar) de los nutrientes orgánicos e inorgánicos de N y P en el Río Verdugo.

Nutriente		Concentración (mmol/m ³)
Nitrógeno Inorgánico total	NIT	11,75 \pm 4,45
Nitrógeno orgánico	NOP+NOD	13,5 \pm 0,5
Fosfato	PO ₄	0,23 \pm 0,08
Fósforo orgánico	POD+POP	0,35 \pm 0,05