

“Análisis de la calidad del agua e informe del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2022”



Informe

para:

Dpto. Medio Ambiente y Obras Hidráulicas
Diputación Foral de Gipuzkoa

Pasaia, 19 de diciembre de 2022

Título documento *Análisis de la calidad del agua e informe del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2022*

Código proyecto IM-22-ESTUARIOS

Cliente DIPUTACIÓN FORAL GIPUZKOA - GIPUZKOAKO FORU
ALDUNDIA, Dpto. de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas -
Ingurumena eta Obra Hidraulikoak
Plaza Gipuzkoa s/n
20004 DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN
Att. D. Ignacio Bañares Santin

Autores Marta Isabel Revilla
Almudena Fontán
Joxe Mikel Garmendia

Fecha 19/12/2022

Si procede, este informe debe ser citado de la manera siguiente:

Revilla, M., A. Fontán, J.M. Garmendia, 2022. Análisis de la calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2022. Informe elaborado por AZTI para el Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas, Diputación Foral de Gipuzkoa. 77 pp.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	5
1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	7
2 METODOLOGÍA	9
2.1 Estaciones de muestreo.....	9
2.2 Variables ambientales del agua.....	14
2.2.1 Toma de muestras de agua y medida de variables “in situ”	14
2.2.2 Comprobación y almacenamiento de los datos de campo	18
2.2.3 Evaluación de la calidad de las aguas en base a la clorofila	19
2.2.4 Nutrientes indicadores de vertidos: amonio y fosfato	20
2.3 Análisis de anomalías en variables meteorológicas e hidrográficas	24
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
3.1 Concentración de clorofila en los estuarios de Gipuzkoa	27
3.1.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal	27
3.1.2 Tendencias a largo plazo de la clorofila en cada estuario	29
3.2 Contenido de oxígeno disuelto en los estuarios de Gipuzkoa.....	40
3.2.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal	40
3.2.2 Tendencias a largo plazo del oxígeno en cada estuario.....	46
3.3 Aportes de amonio y fosfato procedentes de los ríos	57
3.3.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal	57
3.3.2 Situación de los nutrientes indicadores de vertidos en 2022.....	59
3.4 Variables meteorológicas e hidrográficas	60
3.4.1 Anomalías del régimen fluvial y pluvial del Urola relativas al periodo 1997-2022... ..	60
3.4.2 Escala geográfica local y regional.....	62
3.4.3 Teleconexiones climáticas	63
3.4.4 Conclusiones sobre la variabilidad del caudal y su influencia en la clorofila	64
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67

5	BIBLIOGRAFÍA	71
6	ANEXOS.....	75
6.1	Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Deba.....	75
6.2	Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Urola.....	75
6.3	Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Oria.....	76
6.4	Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Urumea.....	76
6.5	Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Oiartzun	77
6.6	Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Bidasoa	77

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al interés del Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa. Queremos agradecerle especialmente a Iñaki Bañares su ayuda y colaboración.

1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Desde mediados de la década de los 80, la Diputación Foral de Gipuzkoa realiza campañas de muestreo para la adquisición de datos de diferentes variables fisicoquímicas en los estuarios.

A partir de 1999, AZTI comenzó a elaborar informes anuales sobre la calidad de estos sistemas, con los datos derivados de dichas campañas. Hasta 2017 también se encargó del análisis de la concentración de clorofila en muestras de agua proporcionadas por la Diputación.

Las series de larga duración han hecho posible describir la evolución de la calidad ambiental en los estuarios a lo largo de varias décadas.

Así, anualmente, hasta 2017 se describió en los informes la tendencia de la concentración de clorofila y del oxígeno en el agua, variables de gran interés ambiental.

Además, un estudio específico de la variación a largo plazo de las concentraciones de nutrientes (amonio y fosfato) y de la turbidez permitió comprobar la eficiencia del saneamiento realizado en las cuencas guipuzcoanas (Revilla et al., 2011b).

Por otra parte, algunos informes anuales incluyeron una caracterización del sedimento (granulometría, materia orgánica, potencial redox, metales pesados e hidrocarburos poliaromáticos (PAHs)). Concretamente, entre los años 2009 y 2011 se realizó una caracterización sedimentológica en los estuarios del Deba, el Urola y el Oria. Además, estos estudios evaluaron el riesgo de toxicidad del sedimento sobre la biota (Fontán et al., 2010; Revilla et al., 2011a, b).

En AZTI también se han realizado otros estudios específicos a petición de la Diputación Foral de Gipuzkoa. Gracias a ello se dispone de una amplia información sobre el estado químico del agua y los sedimentos, y también sobre las comunidades biológicas (plancton y bentos) que habitan en los estuarios y aguas costeras de Gipuzkoa (véanse, por ejemplo, Belzunce et al., 2011; Muxika y Valencia, 2011; Muxika et al., 2017).

El presente informe se realiza a petición del Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa. Este estudio se refiere a la evolución ambiental de los estuarios hasta el año 2022.

A continuación, se detallan los objetivos concretos, así como el origen de los datos empleados.

- **OBJETIVO 1:** Describir los patrones de variabilidad espacial y temporal de la **clorofila “a”**. La clorofila se considera una variable de gran utilidad como aproximación a la biomasa fitoplanctónica y como indicador de la respuesta del fitoplancton al enriquecimiento en nitrógeno y fósforo en el medio marino (Harding, 1994). Este informe también evaluará los

cambios habidos en la calidad de las aguas utilizando un indicador basado en la clorofila (el percentil 90 calculado en periodos de 6 años). Este indicador se aplicará para cada estuario, en diferentes zonas. En cuanto a la obtención de los datos, la Diputación se encarga de la toma de muestras de agua en los estuarios y de su analítica. El personal de AZTI realiza el tratamiento de los datos.

- **OBJETIVO 2:** Describir la evolución a largo plazo del **oxígeno disuelto**. El oxígeno es una de las principales variables que se asocian con la calidad del agua en los estuarios. Las condiciones de oxigenación dependen tanto de factores naturales (fotosíntesis, respiración, nitrificación, difusión...), como de factores antrópicos (eutrofización y vertidos con alto contenido en materia orgánica). Los técnicos de la Diputación son los responsables de la medida “in situ” de diversas variables fisicoquímicas, entre las cuales figura el oxígeno disuelto en el agua. En algunos estuarios las series temporales abarcan desde 1988 hasta la actualidad. Dichos datos son introducidos por personal de AZTI en hojas de cálculo para su posterior tratamiento.
- **OBJETIVO 3:** Comparar las concentraciones de nutrientes disueltos en el agua (concretamente, **amonio y fosfato**) observadas en 2022, con las concentraciones registradas en épocas anteriores. Esta información procede de la base de datos de la Diputación (para más detalles sobre ésta, véase Revilla et al., 2011b). Se han tenido en cuenta estos nutrientes porque sus picos son indicadores de vertidos de aguas residuales urbanas deficientemente tratadas. Además, un exceso de nutrientes en los estuarios puede dar lugar a problemas de eutrofización, al estimular el crecimiento del fitoplancton y/o las macroalgas, con la consiguiente acumulación y oxidación de la biomasa producida.
- **OBJETIVO 4:** Describir los patrones de variación de las **precipitaciones** y el **caudal fluvial** en las últimas décadas. El objetivo es averiguar si los cambios observados en la clorofila, oxígeno, etc. guardan relación con la variabilidad del régimen fluvial. Esto es importante para evaluar si los procesos de saneamiento de la cuenca dan lugar a una mejor calidad del agua en el estuario.

2 METODOLOGÍA

2.1 Estaciones de muestreo

Los muestreos para el estudio de las variables fisicoquímicas y la clorofila abarcan los seis estuarios principales de Gipuzkoa (Deba, Urola, Oria, Urumea, Oiartzun y Bidasoa). También incluyen estaciones en regatas que tienen cierta influencia de la marea (**Tabla 1**). Las variables fisicoquímicas se refieren tanto a las medidas “in situ” (temperatura, oxígeno, pH, salinidad y conductividad), como a las medidas en laboratorio (por ejemplo, turbidez y nutrientes). Para la mayoría se dispone de más de 30 años de medidas de variables fisicoquímicas y más de 20 de clorofila.

Tabla 1. Estaciones incluidas actualmente en el seguimiento de los estuarios de Gipuzkoa y series temporales disponibles. Se indica el rango en que se sitúa su salinidad máxima. En gris se señalan las estaciones donde se mide actualmente la clorofila.

Estuario/ Zona	Estación	Localización	Datos Fisicoquímica	Datos Clorofila "a"	Salinidad máxima
MUTRIKU	MIJ04450S	Río Mijoa	2004-		<18
DEBA	DEB50000S	Puente Sasiola	1987-	1999-	<18
	DEB52200S	Puente FEVE	1987-		<18
	DEB53400S	Caserío Lasao	1987-	1999-	18-30
	DEB54300S	Astilleros Finca Laskibar	1987-		18-30
	DEB54900S	Puente Deba	1987-	1999-	>30
	DEB55400S	Espigón salida al Mar	2001-		>30
UROLA	NAR07500S	Regata Narrondo	2006-		18-30
	URO52800S	Puente Saburutx	1987-	1999-2012	18-30
	URO55000S	Puente Gorostiaga	1987-	1999-	18-30
	URO55800S	Marismas	1987-		18-30
	URO57000S	Puente de FEVE	1987-	1999-	>30
	URO57900S	Puente de la N-634	1987-		>30
	URO58700S	Puerto de Zumaia	1987-	1999-	>30
ORIA	ORI60200S	Puente San Esteban	1986-	1999-2012	<18
	ORI62400S	1os embarcaderos Aginaga	1986-	1999-	<18
	ORI64700S	2os embarcaderos Aginaga	1986-	1999-2012	18-30
	ORI67200S	Astilleros (Atxega)	1986-	1999-	>30
	ORI68700S	Puente Orio	1986-	1999-2012	>30
	ORI70700S	Espigón salida al Mar	2001-	2001-	>30

Tabla 1 (Continuación). Estaciones incluidas actualmente en el seguimiento de los estuarios de Gipuzkoa y series temporales disponibles. Se indica, para cada estación, el rango en el que se sitúa su salinidad máxima. En gris se señalan las estaciones donde actualmente se mide la clorofila.

Estuario/ Zona	Estación	Localización	Datos Fisicoquímica	Datos Clorofila "a"	Salinidad máxima
IGARA	IGA05200R	Regata Igara	2018-		<18
AÑORGA	ANI04800S	Regata Añorga (Infierno)	1987-		<18
URUMEA	URU41300S	Curva Astigarraga	1987-		<18
	URU42300S	Puente del Barrio Pilar	1987-	1999-2012	<18
	URU44000S	Puente del Barrio Txomin-Enea	1987-	1999-	18-30
	URU45300S	Puente de Eguía	1987-	1999-2012	>30
	URU46600S	Puente de Hierro	1987-	1999-	>30
	URU49000S	Puente del Kursaal	2001-	2001-	>30
OIARTZUN	MOL00600S	Regata Molinao	1989-		18-30
	OIA12200S	Puente de Renteria- Río Oiartzun	1989-		<18
	OIA13000S	Puente de Lezo- Río Oiartzun	1989-		<18
	OIA14000S	Cola del Puerto- Río Oiartzun	1989-	1998-	>30
	OIA14500S	Dársena de Lezo	1989-	1998-2012	>30
	OIA15000S	Salida Regata Molinao	1989-	1998-	>30
	OIA15500S	Centro del puerto	1989-	1998-2012	>30
	OIA16700S	Canal salida al mar	1989-	1998-	>30
	OIA16200S	Dársena Herrera	1989-	1998-	>30
BIDASOA	END10200R	Salida Regata Endara	1995-		<18
	BID00000R	Puente de Endarlaza	1995-	1999-2001	<18
	BID04200S	Curva Alunda-Lastaola (km 81, C-131)	1992-	1999-2012	<18
	BID07600S	Puente de Behobia	1992-	1999-	<18
	BID10350S	Puente de Santiago (Irún)	1992-	1999-	18-30
	BID13300S	Cofradía de Pescadores	2001-	2001-	>30

Como puede verse en la **Tabla 1**, las variables fisicoquímicas que se miden “in situ” (temperatura, oxígeno, pH, salinidad y conductividad) abarcan un mayor número de puntos de muestreo que la clorofila, variable esta última que requiere su análisis en laboratorio.

En la misma tabla se indica un rango de salinidad para cada punto de muestreo (basado en el valor máximo encontrado a lo largo de la serie temporal). Esto facilita la percepción de la influencia relativa del río frente al mar en cada punto de muestreo.

A continuación, se presentan los mapas de cada estuario con la localización de las estaciones que actualmente se muestrean (**Figura 1** a **Figura 6**). Las estaciones señaladas con puntos azules son aquellas donde únicamente se han medido variables fisicoquímicas. Para las que, además, se dispone de datos de clorofila, se ha utilizado el color verde.

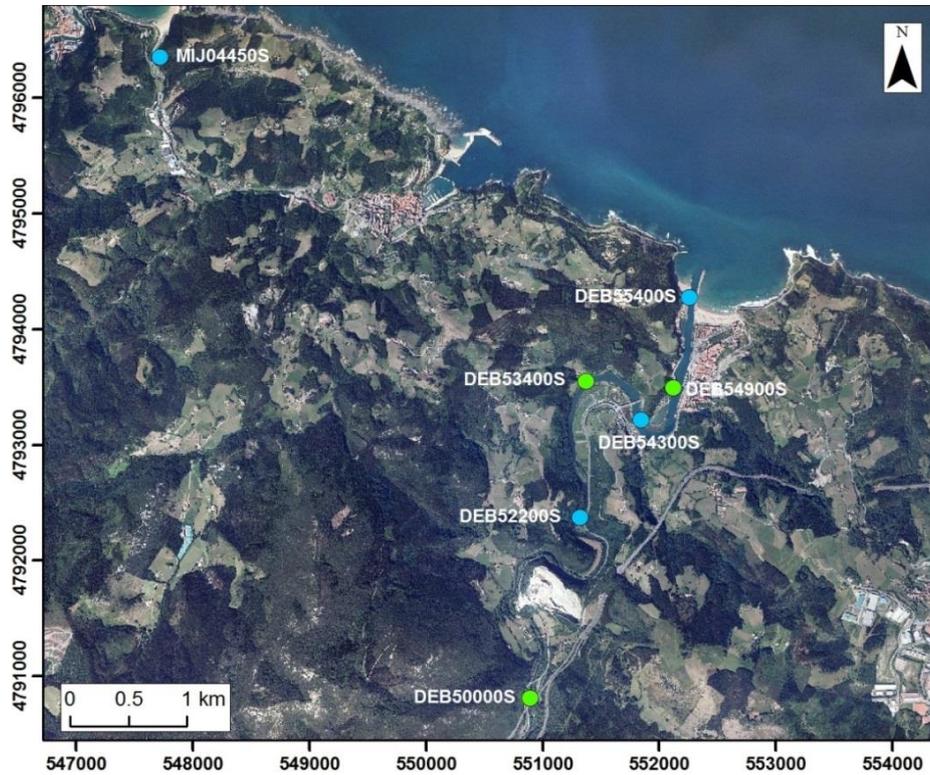


Figura 1. Estaciones de muestreo de aguas en el estuario del Deba y Río Mijoa durante 2022.

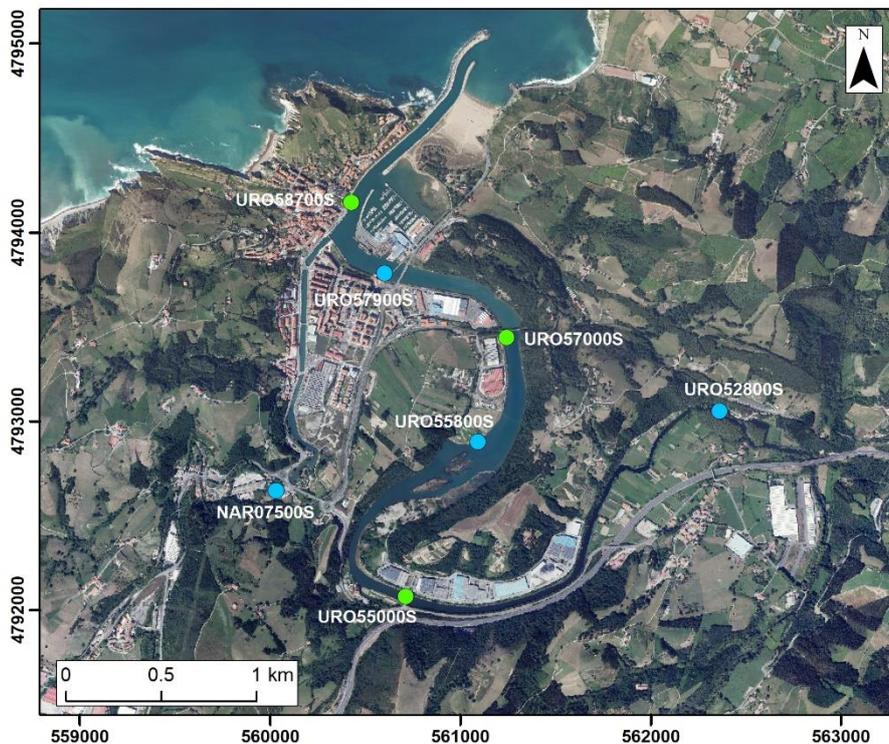


Figura 2. Estaciones de muestreo de aguas en el estuario del Urola y Regata Narrondo durante 2022.



Figura 3. Estaciones de muestreo de aguas en el estuario del Oria durante 2022.



Figura 4. Estaciones de muestreo de aguas en el estuario del Urumea, en la Regata Añorga y en la Regata Igara, durante 2022.

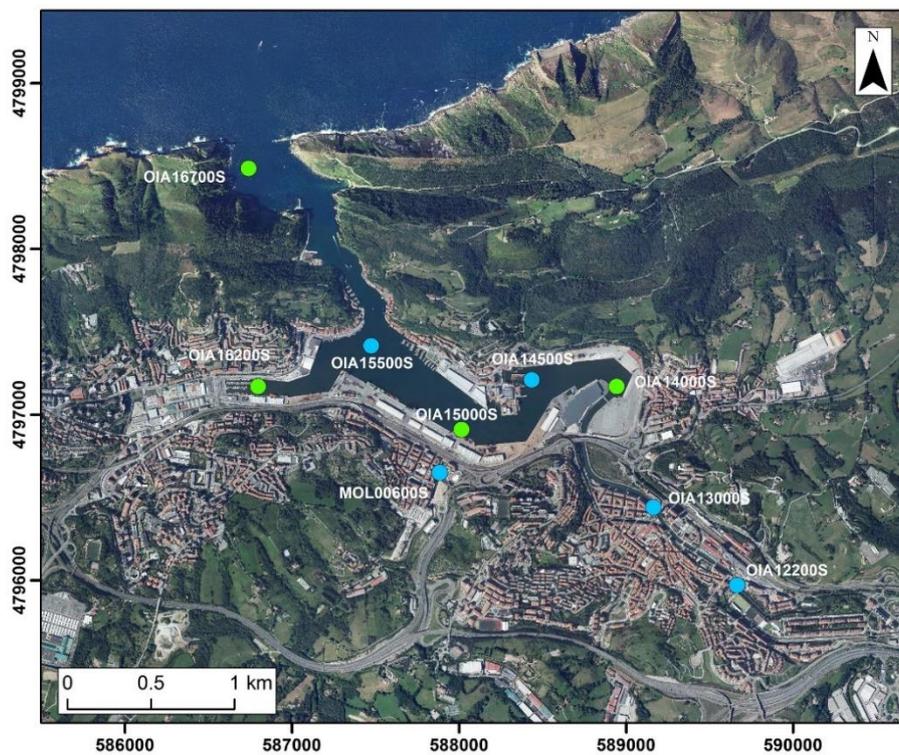


Figura 5. Estaciones de muestreo de aguas en el estuario del Oiarzun y Regata Molinao durante 2022.

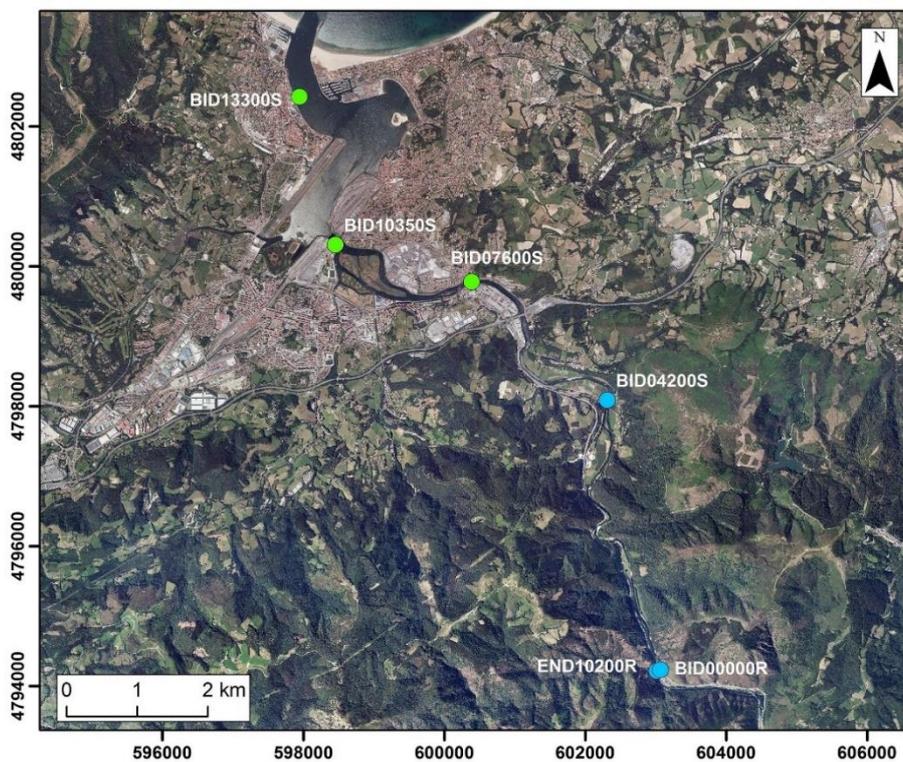


Figura 6. Estaciones de muestreo de aguas en el estuario del Bidasoa y Regata Endara durante 2022.

2.2 Variables ambientales del agua

2.2.1 Toma de muestras de agua y medida de variables “in situ”

Las muestras de agua para el análisis de la clorofila y de otras variables indicadoras de calidad ambiental (por ejemplo, los nutrientes disueltos) son recogidas por técnicos de la Diputación. Al mismo tiempo, estos miden “in situ” algunas variables fisicoquímicas (salinidad, temperatura, pH, etc.), entre las que se encuentra una variable de gran interés ambiental: el oxígeno disuelto. Las variables se miden justo debajo de la superficie.

La localización y el número de estaciones en las que hay registro de variables fisicoquímicas y de clorofila pueden consultarse en el apartado anterior (**Tabla 1**).

Los muestreos para la clorofila comenzaron en la mayoría de los estuarios en 1999 (aunque en el Oiartzun hay datos desde 1998). La frecuencia de muestreo varía a lo largo de la serie histórica (**Tabla 2**). Hasta el año 2005 se realizaron generalmente entre 4 y 5 muestreos por año. A partir de 2006 aumentó la frecuencia y fue habitual realizar unos 6–7 muestreos por año en cada estuario. A partir de 2010 se restringió el periodo de muestreo de la clorofila a la época de mayor productividad fitoplanctónica en los estuarios de clima templado, pero manteniendo una frecuencia de muestreo aproximadamente mensual en el resto de las variables. En 2020 no se hizo este análisis debido a la alerta sanitaria del COVID.

Tabla 2. Campañas realizadas desde 1999 para clorofila y variables fisicoquímicas.

AÑO	DEBA	UROLA	ORIA	URUMEA	OIARTZUN	BIDASOA
1999	16 de julio de 1999	18 de junio de 1999	23 de julio de 1999	25 de junio de 1999	11 de junio de 1999	25 de junio de 1999
	25 de agosto de 1999	17 de septiembre de 1999	10 de septiembre de 1999	3 de septiembre de 1999	13 de agosto de 1999	3 de septiembre de 1999
	29 de octubre de 1999	22 de octubre de 1999	19 de noviembre de 1999	5 de noviembre de 1999	12 de noviembre de 1999	5 de noviembre de 1999
2000	14 de enero de 2000	21 de enero de 2000	4 de febrero de 2000	28 de enero de 2000	11 de febrero de 2000	28 de enero de 2000
	31 de marzo de 2000	5 de mayo de 2000	28 de abril de 2000	14 de abril de 2000	7 de abril de 2000	14 de abril de 2000
	16 de junio de 2000	9 de junio de 2000	26 de mayo de 2000	23 de junio de 2000	16 de junio de 2000	23 de junio de 2000
	11 de agosto de 2000	28 de julio de 2000	20 de julio de 2000	4 de agosto de 2000	18 de agosto de 2000	4 de agosto de 2000
	22 de septiembre de 2000	20 de octubre de 2000	29 de septiembre de 2000	6 de octubre de 2000	27 de octubre de 2000	6 de octubre de 2000
2001	19 de enero de 2001	12 de enero de 2001	2 de febrero de 2001	26 de enero de 2001	9 de febrero de 2001	26 de enero de 2001
	30 de marzo de 2001	23 de marzo de 2001	27 de abril de 2001	6 de abril de 2001	10 de mayo de 2001	6 de abril de 2001
	15 de junio de 2001	8 de junio de 2001	1 de junio de 2001	25 de mayo de 2001	27 de junio de 2001	25 de mayo de 2001
	3 de agosto de 2001	17 de agosto de 2001	27 de julio de 2001	10 de agosto de 2001	24 de agosto de 2001	10 de agosto de 2001
	9 de noviembre de 2001	26 de octubre de 2001	30 de noviembre de 2001	23 de noviembre de 2001	19 de octubre de 2001	16 de noviembre de 2001
2002	28 de febrero de 2002	22 de febrero de 2002	15 de febrero de 2002	8 de febrero de 2002	1 de febrero de 2002	8 de febrero de 2002
	17 de mayo de 2002	9 de mayo de 2002	19 de abril de 2002	31 de mayo de 2002	26 de abril de 2002	24 de mayo de 2002
	16 de agosto de 2002	2 de agosto de 2002	26 de julio de 2002	30 de agosto de 2002	9 de agosto de 2002	23 de agosto de 2002
	25 de octubre de 2002	18 de octubre de 2002	8 de noviembre de 2002	31 de octubre de 2002	15 de noviembre de 2002	31 de octubre de 2002
2003	8 de abril de 2003	25 de abril de 2003	9 de mayo de 2003	16 de mayo de 2003	28 de marzo de 2003	14 de abril de 2003
	23 de mayo de 2003	30 de mayo de 2003	24 de junio de 2003	13 de junio de 2003	17 de junio de 2003	6 de junio de 2003
	17 de julio de 2003	24 de julio de 2003	14 de agosto de 2003	8 de agosto de 2003	22 de agosto de 2003	1 de agosto de 2003
	3 de octubre de 2003	10 de octubre de 2003	17 de octubre de 2003	26 de septiembre de 2003	7 de noviembre de 2003	24 de octubre de 2003

Tabla 2 (Continuación). En gris se señalan los muestreos que no incluyen clorofila (sólo fisicoquímica).

AÑO	DEBA	UROLA	ORIA	URUMEA	OIARTZUN	BIDASOA
2004	20 de febrero de 2004	13 de febrero de 2004	6 de febrero de 2004	27 de febrero de 2004	21 de mayo de 2004	4 de marzo de 2004
	30 de abril de 2004	23 de abril de 2004	16 de abril de 2004	14 de mayo de 2004	23 de julio de 2004	7 de mayo de 2004
	6 de agosto de 2004	30 de julio de 2004	13 de agosto de 2004	16 de julio de 2004	22 de octubre de 2004	20 de agosto de 2004
	5 de noviembre de 2004	15 de octubre de 2004	29 de octubre de 2004	27 de agosto de 2004	26 de noviembre de 2004	12 de noviembre de 2004
2005	24 de febrero de 2005	14 de marzo de 2005	7 de marzo de 2005	18 de febrero de 2005	18 de marzo de 2005	1 de abril de 2005
	3 de junio de 2005	17 de junio de 2005	10 de junio de 2005	1 de julio de 2005	27 de mayo de 2005	24 de junio de 2005
	8 de julio de 2005	12 de agosto de 2005	15 de julio de 2005	26 de agosto de 2005	19 de agosto de 2005	2 de septiembre de 2005
	8 de septiembre de 2005	16 de septiembre de 2005	29 de septiembre de 2005	7 de octubre de 2005	23 de septiembre de 2005	14 de octubre de 2005
	21 de octubre de 2005	11 de noviembre de 2005	18 de noviembre de 2005	9 de diciembre de 2005	16 de diciembre de 2005	25 de noviembre de 2005
2006	3 de febrero de 2006	24 de febrero de 2006	10 de febrero de 2006	10 de marzo de 2006	17 de febrero de 2006	3 de marzo de 2006
	16 de marzo de 2006	24 de marzo de 2006	31 de marzo de 2006	12 de abril de 2006	21 de abril de 2006	7 de abril de 2006
	16 de junio de 2006	23 de junio de 2006	26 de mayo de 2006	9 de junio de 2006	19 de mayo de 2006	2 de junio de 2006
	4 de agosto de 2006	18 de agosto de 2006	30 de junio de 2006	1 de septiembre de 2006	14 de julio de 2006	7 de julio de 2006
	18 de septiembre de 2006	22 de septiembre de 2006	7 de septiembre de 2006	28 de julio de 2006	28 de septiembre de 2006	25 de agosto de 2006
	10 de noviembre de 2006	17 de noviembre de 2006	6 de noviembre de 2006	6 de octubre de 2006	22 de diciembre de 2006	9 de octubre de 2006
2007	12 de enero de 2007	19 de enero de 2007	26 de enero de 2007	9 de febrero de 2007	16 de marzo de 2007	2 de febrero de 2007
	16 de febrero de 2007	23 de febrero de 2007	2 de marzo de 2007	23 de marzo de 2007	25 de mayo de 2007	9 de marzo de 2007
	30 de marzo de 2007	13 de abril de 2007	2 de abril de 2007	4 de mayo de 2007	30 de julio de 2007	27 de abril de 2007
	1 de junio de 2007	15 de junio de 2007	21 de mayo de 2007	13 de julio de 2007	31 de agosto de 2007	8 de junio de 2007
	21 de julio de 2007	3 de agosto de 2007	17 de agosto de 2007	7 de septiembre de 2007	19 de octubre de 2007	10 de agosto de 2007
	24 de agosto de 2007	14 de septiembre de 2007	9 de noviembre de 2007	4 de octubre de 2007	14 de diciembre de 2007	11 de octubre de 2007
	16 de noviembre de 2007	7 de diciembre de 2007		30 de noviembre de 2007		26 de noviembre de 2007
2008	28 de febrero de 2008	7 de marzo de 2008	13 de marzo de 2008	3 de abril de 2008	15 de febrero de 2008	21 de febrero de 2008
	17 de abril de 2008	24 de abril de 2008	15 de mayo de 2008	2 de mayo de 2008	11 de abril de 2008	28 de marzo de 2008
	5 de junio de 2008	29 de mayo de 2008	13 de junio de 2008	17 de julio de 2008	20 de junio de 2008	22 de mayo de 2008
	23 de julio de 2008	29 de julio de 2008	7 de agosto de 2008	28 de agosto de 2008	21 de agosto de 2008	10 de julio de 2008
	3 de septiembre de 2008	11 de septiembre de 2008	18 de septiembre de 2008	2 de octubre de 2008	16 de octubre de 2008	13 de agosto de 2008
	9 de octubre de 2008	23 de octubre de 2008	31 de octubre de 2008	13 de noviembre de 2008	18 de diciembre de 2008	25 de septiembre de 2008
20 de noviembre de 2008	27 de noviembre de 2008	11 de diciembre de 2008			6 de noviembre de 2008	
2009	12 de enero de 2009	29 de enero de 2009	12 de febrero de 2009	21 de enero de 2009	7 de abril de 2009	15 de enero de 2009
	5 de febrero de 2009	12 de marzo de 2009	17 de marzo de 2009	26 de febrero de 2009	28 de mayo de 2009	19 de febrero de 2009
	9 de marzo de 2009	23 de abril de 2009	9 de abril de 2009	2 de abril de 2009	17 de julio de 2009	25 de marzo de 2009
	16 de abril de 2009	17 de junio de 2009	11 de junio de 2009	20 de mayo de 2009		14 de mayo de 2009
	4 de junio de 2009	6 de agosto de 2009	13 de agosto de 2009	27 de agosto de 2009		9 de junio de 2009
	23 de julio de 2009	10 de septiembre de 2009	16 de septiembre de 2009	30 de septiembre de 2009		24 de septiembre de 2009
	3 de septiembre de 2009	15 de octubre de 2009	22 de octubre de 2009	5 de noviembre de 2009		28 de octubre de 2009
	8 de octubre de 2009		26 de noviembre de 2009			
12 de noviembre de 2009						
2010	4 de febrero de 2010	28 de enero de 2010	12 de febrero de 2010	15 de enero de 2010	23 de abril de 2010	18 de febrero de 2010
	11 de marzo de 2010	4 de marzo de 2010	17 de marzo de 2010	25 de febrero de 2010	17 de junio de 2010	25 de marzo de 2010
	8 de abril de 2010	15 de abril de 2010	29 de abril de 2010	31 de marzo de 2010	29 de julio de 2010	6 de mayo de 2010
	13 de mayo de 2010	27 de mayo de 2010	3 de junio de 2010	20 de mayo de 2010	23 de septiembre de 2010	10 de junio de 2010
	15 de julio de 2010	24 de junio de 2010	22 de julio de 2010	8 de julio de 2010	28 de octubre de 2010	5 de agosto de 2010
	12 de agosto de 2010	19 de agosto de 2010	26 de agosto de 2010	2 de septiembre de 2010	16 de diciembre de 2010	9 de septiembre de 2010
	16 de septiembre de 2010	30 de septiembre de 2010	7 de octubre de 2010	21 de octubre de 2010		15 de octubre de 2010
	4 de noviembre de 2010	18 de noviembre de 2010	12 de noviembre de 2010	2 de diciembre de 2010		25 de noviembre de 2010
	22 de diciembre de 2010					

Tabla 2 (Continuación). En gris se señalan los muestreos que no incluyen clorofila (sólo fisicoquímica).

AÑO	DEBA	UROLA	ORIA	URUMEA	OIARTZUN	BIDASOA
2011	17 de febrero de 2011	19 de enero de 2011	27 de enero de 2011	3 de febrero de 2011	10 de marzo de 2011	10 de febrero de 2011
	31 de marzo de 2011	24 de febrero de 2011	3 de marzo de 2011	24 de marzo de 2011	29 de abril de 2011	17 de marzo de 2011
	19 de mayo de 2011	15 de abril de 2011	7 de abril de 2011	12 de mayo de 2011	16 de junio de 2011	5 de mayo de 2011
	13 de julio de 2011	26 de mayo de 2011	2 de junio de 2011	7 de julio de 2011	1 de septiembre de 2011	9 de junio de 2011
	17 de agosto de 2011	21 de julio de 2011	4 de agosto de 2011	11 de agosto de 2011	3 de noviembre de 2011	28 de julio de 2011
	29 de septiembre de 2011	25 de agosto de 2011	7 de septiembre de 2011	22 de septiembre de 2011		15 de septiembre de 2011
	17 de noviembre de 2011	6 de octubre de 2011	13 de octubre de 2011	27 de octubre de 2011		19 de octubre de 2011
		24 de noviembre de 2011	15 de diciembre de 2011			1 de diciembre de 2011
2012	26 de enero de 2012	9 de febrero de 2012	2 de febrero de 2012	18 de enero de 2012	12 de enero de 2012	29 de febrero de 2012
	7 de marzo de 2012	14 de marzo de 2012	21 de marzo de 2012	16 de febrero de 2012	22 de febrero de 2012	10 de abril de 2012
	18 de abril de 2012	23 de abril de 2012	2 de mayo de 2012	28 de marzo de 2012	3 de abril de 2012	22 de mayo de 2012
	29 de mayo de 2012	5 de junio de 2012	12 de junio de 2012	7 de mayo de 2012	15 de mayo de 2012	26 de junio de 2012
	3 de julio de 2012	24 de julio de 2012	30 de julio de 2012	19 de junio de 2012	9 de julio de 2012	27 de agosto de 2012
	4 de septiembre de 2012	11 de septiembre de 2012	18 de septiembre de 2012	13 de agosto de 2012	20 de agosto de 2012	3 de octubre de 2012
	16 de octubre de 2012	24 de octubre de 2012	29 de octubre de 2012	25 de septiembre de 2012	9 de octubre de 2012	19 de noviembre de 2012
	27 de noviembre de 2012	4 de diciembre de 2012	11 de diciembre de 2012	6 de noviembre de 2012	13 de noviembre de 2012	
			18 de diciembre de 2012			
2013	23 de enero de 2013	28 de enero de 2013	4 de febrero de 2013	18 de febrero de 2013	14 de enero de 2013	9 de enero de 2013
	12 de marzo de 2013	18 de marzo de 2013	25 de marzo de 2013	2 de abril de 2013	26 de febrero de 2013	5 de marzo de 2013
	23 de abril de 2013	29 de abril de 2013	6 de mayo de 2013	14 de mayo de 2013	16 de abril de 2013	8 de abril de 2013
	4 de junio de 2013	10 de junio de 2013 (*)	17 de junio de 2013	24 de junio de 2013	20 de mayo de 2013	27 de mayo de 2013
	22 de julio de 2013	1 de julio de 2013	12 de agosto de 2013	19 de agosto de 2013	9 de julio de 2013	15 de julio de 2013
	10 de septiembre de 2013	5 de agosto de 2013	24 de septiembre	30 de septiembre de 2013	26 de agosto de 2013	4 de septiembre de 2013
	21 de octubre de 2013	16 de septiembre de 2013	11 de noviembre de 2013	18 de noviembre de 2013	7 de octubre de 2013	14 de octubre de 2013
	10 de diciembre de 2013	28 de octubre de 2013	30 de diciembre de 2013		26 de noviembre de 2013	2 de diciembre de 2013
	16 de diciembre de 2013					
2014	27 de enero de 2014	3 de febrero de 2014	10 de febrero de 2014	7 de enero de 2014	13 de enero de 2014	21 de enero de 2014
	17 de marzo de 2014	24 de marzo de 2014	31 de marzo de 2014	17 de febrero de 2014	25 de febrero de 2014	10 de marzo de 2014
	12 de mayo de 2014	5 de mayo de 2014	19 de mayo de 2014	7 de abril de 2014	15 de abril de 2014	28 de abril de 2014
	17 de junio de 2014	23 de junio de 2014	30 de junio de 2014	27 de mayo de 2014	3 de junio de 2014	9 de junio de 2014
	4 de agosto de 2014	11 de agosto de 2014	18 de agosto de 2014	7 de julio de 2014	14 de julio de 2014	28 de julio de 2014
	15 de septiembre de 2014	22 de septiembre de 2014	29 septiembre de 2014	25 de agosto de 2014	8 de septiembre de 2014	1 de septiembre de 2014
	28 de octubre de 2014	4 de noviembre de 2014	11 de noviembre de 2014	6 de octubre de 2014	14 de octubre de 2014	21 de octubre de 2014
	9 de diciembre de 2014	16 de diciembre de 2014	22 de diciembre de 2014	18 de noviembre de 2014	25 de noviembre de 2014	2 de diciembre de 2014
2015	27 de enero de 2015	3 de febrero de 2015	10 de febrero de 2015	5 de enero de 2015	12 de enero de 2015	21 de enero de 2015
	16 de marzo de 2015	24 de marzo de 2015	31 de marzo de 2015	24 de febrero de 2015	17 de febrero de 2015	10 de marzo de 2015
	28 de abril de 2015	5 de mayo de 2015	12 de mayo de 2015	7 de abril de 2015	21 de abril de 2015	14 de abril de 2015
	09 de junio de 2015	16 de junio de 2015	23 de junio de 2015	19 de mayo de 2015	26 de mayo de 2015	2 de junio de 2015
	21 de julio de 2015	28 de julio de 2015	4 de agosto de 2015	30 de junio de 2015	7 de julio de 2015	15 de julio de 2015
	8 de septiembre de 2015	15 de septiembre de 2015	22 de septiembre de 2015	11 de agosto de 2015	18 de agosto de 2015	1 de septiembre de 2015
	13 de octubre de 2015	27 de octubre de 2015	3 de noviembre de 2015	29 de septiembre de 2015	20 de octubre de 2015	6 de octubre de 2015
	1 de diciembre de 2015	10 de diciembre de 2015	15 de diciembre de 2015	10 de noviembre de 2015	17 de noviembre de 2015	24 de noviembre de 2015
			22 de diciembre de 2015	28 de diciembre de 2015		
2016	11 de enero de 2016	19 de enero de 2016	26 de enero de 2016	2 de febrero de 2016	9 de febrero de 2016	4 de enero de 2016
	23 de febrero de 2016	1 de marzo de 2016	8 de marzo de 2016	15 de marzo de 2016	22 de marzo de 2016	16 de febrero de 2016
	13 de abril de 2016	18 de abril de 2016	26 de abril de 2016	4 de mayo de 2016	10 de mayo de 2016	5 de abril de 2016
	24 de mayo de 2016	31 de mayo de 2016	7 de junio de 2016	14 de junio de 2016	28 de junio de 2016	17 de mayo de 2016
	5 de julio de 2016	12 de julio de 2016	26 de julio de 2016	2 de agosto de 2016	23 de agosto de 2016	21 de junio de 2016
	16 de agosto de 2016	30 de agosto de 2016	6 de septiembre de 2016	20 de septiembre de 2016	27 de septiembre de 2016	9 de agosto de 2016
	11 de octubre de 2016	25 de octubre de 2016	31 de octubre de 2016	8 de noviembre de 2016	16 de noviembre de 2016	4 de octubre de 2016
	18 de octubre de 2016	1 de diciembre de 2016	13 de diciembre de 2016	19 de diciembre de 2016	27 de diciembre de 2016	22 de noviembre de 2016
5 de diciembre de 2016						

Tabla 2 (Continuación). En gris se señalan los muestreos que no incluyen clorofila (sólo fisicoquímica).

AÑO	DEBA	UROLA	ORIA	URUMEA	OIARTZUN	BIDASOA	
2017	10 de enero de 2017	18 de enero de 2017	24 de enero de 2017	31 de enero de 2017	7 de febrero de 2017	3 de enero de 2017	
	21 de febrero de 2017	28 de febrero de 2017	7 de marzo de 2017	14 de marzo de 2017	21 de marzo de 2017	14 de febrero de 2017	
	4 de abril de 2017	11 de abril de 2017	18 de abril de 2017	25 de abril de 2017	3 de mayo de 2017	27 de marzo de 2017	
	23 de mayo de 2017	30 de mayo de 2017	6 de junio de 2017	13 de junio de 2017	20 de junio de 2017	9 de mayo de 2017	
	4 de julio de 2017	11 de julio de 2017	26 de julio de 2017	1 de agosto de 2017	21 de agosto de 2017	27 de junio de 2017	
	28 de agosto de 2017	29 de agosto de 2017	5 de septiembre de 2017	12 de septiembre de 2017	18 de septiembre de 2017	22 de agosto de 2017	
	3 de octubre de 2017	10 de octubre de 2017	17 de octubre de 2017	24 de octubre de 2017	29 de noviembre de 2017	26 de septiembre de 2017	
	15 de noviembre de 2017	22 de noviembre de 2017	12 de diciembre de 2017	19 de diciembre de 2017	26 de diciembre de 2017	8 de noviembre de 2017	
	2018	9 de enero de 2018	16 de enero de 2018	23 de enero de 2018	30 de enero de 2018	6 de febrero de 2018	3 de enero de 2018
27 de febrero de 2018		6 de marzo de 2018	12 de marzo de 2018	13 de marzo de 2018	20 de marzo de 2018	13 de febrero de 2018	
3 de abril de 2018		10 de abril de 2018	17 de abril de 2018	8 de mayo de 2018	2 de mayo de 2018	27 de marzo de 2018	
22 de mayo de 2018		29 de mayo de 2018	5 de junio de 2018	12 de junio de 2018	27 de junio de 2018	15 de mayo de 2018	
10 de julio de 2018		17 de julio de 2018	4 de septiembre de 2018	11 de septiembre de 2018	30 de octubre de 2018	3 de julio de 2018	
5 de noviembre de 2018		12 de noviembre de 2018	13 de noviembre de 2018	21 de noviembre de 2018	4 de diciembre de 2018	17 de septiembre de 2018	
12 de diciembre de 2018		18 de diciembre de 2018	17 de diciembre de 2018	26 de diciembre de 2018		27 de noviembre de 2018	
2019		15 de enero de 2019	22 de enero de 2019	29 de enero de 2019	4 de febrero de 2019	8 de enero de 2019	2 de enero de 2019
		4 de marzo de 2019	5 de marzo de 2019	12 de marzo de 2019	20 de marzo de 2019	12 de febrero de 2019	19 de febrero de 2019
	9 de abril de 2019	15 de abril de 2019	23 de abril de 2019	29 de abril de 2019	26 de marzo de 2019	2 de abril de 2019	
	28 de mayo de 2019	4 de junio de 2019	11 de junio de 2019	17 de junio de 2019	7 de mayo de 2019	22 de mayo de 2019	
	8 de julio de 2019	15 de julio de 2019	22 de julio de 2019	30 de julio de 2019	2 de julio de 2019	24 de junio de 2019	
	27 de agosto de 2019	10 de septiembre de 2019	17 de septiembre de 2019	24 de septiembre de 2019	20 de agosto de 2019	3 de septiembre de 2019	
	22 de octubre de 2019	8 de octubre de 2019	28 de octubre de 2019	18 de noviembre de 2019	1 de octubre de 2019	15 de octubre de 2019	
	26 de noviembre de 2019	4 de diciembre de 2019	11 de diciembre de 2019	18 de diciembre de 2019	11 de noviembre de 2019	18 de noviembre de 2019	
	2020	22 de enero de 2020	28 de enero de 2020	4 de febrero de 2020	11 de febrero de 2020	8 de enero de 2020	14 de enero de 2020
3 de marzo de 2020		9 de marzo de 2020	13 de mayo de 2020	19 de mayo de 2020	18 de febrero de 2020	25 de febrero de 2020	
9 de junio de 2020		16 de junio de 2020	23 de junio de 2020	30 de junio de 2020	26 de mayo de 2020	2 de junio de 2020	
21 de julio de 2020		25 de agosto de 2020	1 de septiembre de 2020	7 de septiembre de 2020	7 de julio de 2020	14 de julio de 2020	
30 de septiembre de 2020		6 de octubre de 2020	14 de octubre de 2020	20 de octubre de 2020	15 de septiembre de 2020	22 de septiembre de 2020	
10 de noviembre de 2020		17 de noviembre de 2020	23 de noviembre de 2020	30 de noviembre de 2020	27 de octubre de 2020	3 de noviembre de 2020	
2021		16 de febrero de 2021	2 de febrero de 2021	9 de febrero de 2021	26 de enero de 2021	19 de enero de 2021	12 de enero de 2021
	29 de marzo de 2021	23 de marzo de 2021	16 de marzo de 2021	8 de marzo de 2021	3 de marzo de 2021	23 de febrero de 2021	
	10 de mayo de 2021	4 de mayo de 2021	27 de abril de 2021	20 de abril de 2021	13 de abril de 2021	6 de abril de 2021	
	22 de junio de 2021	21 de junio de 2021	16 de junio de 2021	31 de mayo de 2021	25 de mayo de 2021	18 de mayo de 2021	
	18 de agosto de 2021	27 de julio de 2021	20 de julio de 2021	14 de julio de 2021	6 de julio de 2021	30 de junio de 2021	
	5 de octubre de 2021	28 de septiembre de 2021	21 de septiembre de 2021	14 de septiembre de 2021	7 de septiembre de 2021	6 de septiembre de 2021	
	15 de noviembre de 2021	9 de noviembre de 2021	2 de noviembre de 2021	26 de octubre de 2021	19 de octubre de 2021	13 de octubre de 2021	
2022	18 de enero de 2022	11 de enero de 2022	15 de febrero de 2022	8 de febrero de 2022	31 de enero de 2022	25 de enero de 2022	
	1 de marzo de 2022	22 de febrero de 2022	29 de marzo de 2022	22 de marzo de 2022	15 de marzo de 2022	8 de marzo de 2022	
	11 de abril de 2022	5 de abril de 2022	10 de mayo de 2022	3 de mayo de 2022	26 de abril de 2022	19 de abril de 2022	
	24 de mayo de 2022	17 de mayo de 2022	20 de junio de 2022	14 de junio de 2022	7 de junio de 2022	31 de mayo de 2022	
	5 de julio de 2022	28 de junio de 2022	9 de agosto de 2022	27 de julio de 2022	19 de julio de 2022	12 de julio de 2022	
	23 de agosto de 2022	16 de agosto de 2022	4 de octubre de 2022	26 de septiembre de 2022	20 de septiembre de 2022	13 de septiembre de 2022	
	19 de octubre de 2022	10 de octubre de 2022	15 de noviembre de 2022	2 de noviembre de 2022	7 de noviembre de 2022	26 de octubre de 2022	
29 de noviembre de 2022	22 de noviembre de 2022	26 de diciembre de 2022	19 de diciembre de 2022	20 de diciembre de 2022	13 de diciembre de 2022		

Las muestras de agua para el análisis de la clorofila se toman de la capa sub-superficial (a unos 0,5 m de la superficie) para evitar la “contaminación” con material flotante de diverso tipo (por ejemplo, restos de plantas). Como este material puede interferir en el análisis, también se evita muestrear en situaciones de riada (por ejemplo, junio de 2013 en el Urola, **Tabla 2**).

Se utilizan botes de plástico opaco (la luz podría provocar cambios en la concentración de clorofila), de 1 litro de volumen. Los botes se lavan entre sucesivos muestreos. Las muestras se transportan en un plazo de 2-3 horas al laboratorio para su análisis.

En 2022 las muestras para el análisis de clorofila se tomaron entre el 5 de abril y el 4 de octubre, y el número total de muestreos de clorofila por estuario fue de cuatro (**Tabla 2**). Para su análisis se utilizó la metodología descrita en informes anteriores (Strickland y Parsons, 1972; SCOR-UNESCO, 1980).

2.2.2 Comprobación y almacenamiento de los datos de campo

Los datos de las variables fisicoquímicas medidas “in situ” se almacenan en hojas Excel, previa revisión y ordenación de los mismos. Los gráficos y tablas del informe se llevan a cabo una vez que se comprueban los datos. Sin embargo, un valor anómalo no se borra si no hay evidencia de que se trata de un error y, aunque pueda no tenerse en cuenta en ciertos análisis, se guarda en las bases de datos indicando en el apartado de comentarios a qué puede deberse (p.ej., en el caso de la turbidez, suele haber picos muy fuertes si el caudal es bajo y se remueve el fondo al muestrear).

Los datos de oxígeno se tratan además de forma individual, ya que se utilizan para una parte importante de los informes. Estos datos se introducen en tablas de Excel adicionales. En ocasiones ha sido necesaria la corrección de algunos datos, por ejemplo, en el caso del oxígeno medido en la campaña de 2011. Como se señalaba en un informe anterior (Revilla y Muxika, 2012) las concentraciones en 2011 habían sido ligeramente inferiores a la media de los años recientes. Posteriormente, se comprobó que esto se debía a un fallo en la calibración de la sonda, al no haberse tenido en cuenta la salinidad del agua en las medidas de ese año.

Para la corrección de los datos de oxígeno de 2011 se asumió que los datos de temperatura, salinidad y porcentaje de saturación de oxígeno eran correctos, mientras que los datos de la concentración absoluta de oxígeno disuelto eran incorrectos por haber sido obtenidos sin aplicar la compensación o la corrección adecuada. Para recuperar los valores de concentración de oxígeno disuelto se aplicó la fórmula de WEISS (Weiss, 1970).

Esta fórmula proporciona el porcentaje de saturación de oxígeno a partir de la concentración, la temperatura y la salinidad. En este caso se aplicó en modo inverso: a partir de los datos de temperatura, salinidad y porcentaje de saturación se calculó la concentración de oxígeno disuelto (Revilla et al., 2013).

2.2.3 Evaluación de la calidad de las aguas en base a la clorofila

Al igual que en informes precedentes se ha utilizado el percentil 90 de la concentración de clorofila “a” como indicador de biomasa fitoplanctónica. El percentil 90 es un estadístico más recomendable que la media aritmética a la hora de describir una población de datos de clorofila, ya que esta variable generalmente no presenta una distribución normal. Posteriormente, se ha comparado la cantidad de biomasa en cada estación de muestreo (valor de percentil 90) con el valor máximo que se asume para condiciones de nula o baja presión antrópica (valor umbral). Los umbrales que se han utilizado para determinar la calidad son específicos para cada zona salina y se señalan en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Objetivo de calidad (esto es, límite entre los estados *Buena* y *Moderado*) para la clorofila “a” según la salinidad de la estación de muestreo. El objetivo se aplica al percentil 90 de los datos de clorofila de un periodo de 6 años, tomados trimestralmente para que representen las condiciones de invierno, primavera, verano y otoño (https://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/informacion/protocolos_estado_aguas/es_def/adjuntos/05_TW_CW_FITOPLANCTON_URA_V_3.0.pdf). En el presente informe esta métrica se aplica a las medidas de clorofila realizadas entre abril y octubre y, por lo tanto, el resultado de la calidad debe tomarse de manera orientativa.

Estación de muestreo*	Objetivo de calidad para Clorofila ($\mu\text{g l}^{-1}$)
Oligohalina (≤ 5 PSU)	< 13,20
Mesohalina (> 5 y ≤ 18 PSU)	< 10,20
Polihalina (> 18 y ≤ 30 PSU)	< 6,60
Euhalina estuárica (> 30 y $\leq 34,4$ PSU)	< 3,90

* La clasificación de la estación se mantiene fija a lo largo de los años y es la que se realizó en 2014 con la mediana (percentil 50) de todos los datos de salinidad disponibles entonces.

Varios estados de la Unión Europea, para dar cumplimiento a la Directiva Marco del Agua (DMA), utilizan índices basados en el percentil 90 de la clorofila en sus métodos de evaluación de la calidad ecológica. Estos índices se calculan para la época del año en la cual puede haber floraciones de fitoplancton y con datos de un periodo temporal amplio (normalmente 5 - 6 años) a fin de aumentar el tamaño de la muestra y, también, para filtrar el efecto de las variaciones naturales de periodo corto (por ejemplo, un año de sequía o de fuertes precipitaciones). En estudios previos sobre eutrofización llevados a cabo por investigadores de AZTI se habían utilizado índices de este tipo (Borja et al., 2009; Revilla et al., 2010; 2011c; Garmendia et al., 2012). De hecho, el objetivo de calidad fijado para cumplir con la DMA (esto es, el umbral entre el estado ecológico *Buena* y el *Moderado*) está basado en dichas investigaciones. Para estuarios, este objetivo hace años consistía en no superar $8 \mu\text{g l}^{-1}$ en aguas euhalinas y $12 \mu\text{g l}^{-1}$ en el resto de los tramos salinos (BOE, 2013).

En el presente informe se han empleado los criterios actualmente en vigor en el País Vasco para medios estuáricos, es decir, para “aguas de transición” según la terminología de la DMA (**Tabla 3**). Estos figuran en el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental (BOE, 2015). En este decreto, en comparación con los criterios que recogía el de 2013, para la evaluación del fitoplancton en aguas de transición, se establecen objetivos de calidad para un mayor

número de tramos salinos (cuatro en vez de dos), que son además algo más exigentes en el caso de las aguas de mayor salinidad (euhalinas y polihalinas). La metodología se describe en detalle en la web de la Agencia Vasca del Agua- Uraren Euskal Agentzia (URA): https://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/informacion/protocolos_estado_aguas/es_def/adjuntos/05_TW_CW_FITOPLANCTON_URA_V_3.0.pdf.

Como paso previo a la aplicación de la métrica a la serie de datos de la Diputación, se hizo un estudio de la variabilidad estacional de la clorofila (véase apartado 3.1.1). Mediante dicho estudio se comprobó que la época de crecimiento para el fitoplancton en los estuarios de Gipuzkoa está más ceñida a los meses menos fríos y lluviosos. Además, el número de datos recopilados en los meses de enero y diciembre era mucho menor que durante el resto del año. Teniendo esto en cuenta, para evitar en la medida de lo posible variaciones en el percentil 90 que fueran debidas a factores relacionados con la estrategia de muestreo, la serie de datos para su cálculo se acotó entre abril y octubre. Aquí hay que remarcar que el resultado debe tomarse de manera orientativa, más para estudiar tendencias temporales que para clasificar el estado del fitoplancton, dado que los límites de la **Tabla 3** están definidos para la red de seguimiento de URA (en la cual el muestreo es trimestral y, por tanto, incluye meses de invierno). La métrica aplicada a los datos de abril-octubre sobrestimará la biomasa fitoplanctónica anual y dará valores más elevados, haciendo que aparentemente el estado sea peor.

2.2.4 Nutrientes indicadores de vertidos: amonio y fosfato

La Diputación Foral de Gipuzkoa proporciona datos de diferentes variables del agua que se analizan en el Laboratorio Agroambiental (www.fraisoro.net). Las características generales de esta base de datos se describen en Revilla et al. (2011b). En ella figuran, entre otras, la concentración de amonio (NH_4^+) y la de fosfato (PO_4^{3-}), respectivamente, como AMONI y PDIS.

Para el presente informe se han tenido en cuenta estas variables por su influencia en los procesos biológicos de los estuarios. Los nutrientes mencionados, en elevada concentración son indicadores de vertidos de aguas residuales. Además, son una fuente de nitrógeno y fósforo que puede acelerar el crecimiento de especies vegetales oportunistas (macroalgas y fitoplancton).

Transformación de unidades y valores inferiores al límite de cuantificación

En la base de datos de la Diputación, los nutrientes están expresados en mg l^{-1} . De cara a elaborar el informe, la unidad empleada es μM . Los factores de conversión para pasar de gramos a moles son: 18 (amonio) y 95 (fosfato). Por ejemplo, si la concentración de amonio es $0,5 \text{ mg l}^{-1}$, ésta primero se multiplica por 1000 (para pasar a $\mu\text{g l}^{-1}$) y después se divide por 18, para obtener la concentración molar de amonio, que en este ejemplo equivaldría a $27,8 \mu\text{M}$.

Hay datos precedidos por “<”, lo que significa que son inferiores al límite de cuantificación. Siguiendo las recomendaciones del Real Decreto 60/2011, Anexo V (BOE, 2011) en estos casos el dato impreciso se substituye por la mitad del valor del límite de cuantificación. Por ejemplo, si un dato figura como $<0,03 \text{ mg l}^{-1}$, se asume que su valor es $0,015 \text{ mg l}^{-1}$. De esta manera, se evita desechar un gran número de medidas que pueden ser de utilidad para estudiar cambios en las concentraciones a lo largo del tiempo.

Hay registros en los que el límite de cuantificación del fosfato es muy alto. Esto podría deberse a errores a la hora de introducir los datos. Tras consultarlo con el Laboratorio Agroambiental, se decidió no utilizar datos de fosfato que figurasen como $<0,1 \text{ mg l}^{-1}$ ($1,1 \text{ }\mu\text{M}$); $<0,25 \text{ mg l}^{-1}$ ($2,6 \text{ }\mu\text{M}$); $<0,3 \text{ mg l}^{-1}$ ($3,2 \text{ }\mu\text{M}$); o $<0,924 \text{ mg l}^{-1}$ ($9,73 \text{ }\mu\text{M}$). No obstante, estos casos fueron poco frecuentes y generalmente se limitaron a los primeros años de registro.

Para el fosfato, los límites de cuantificación correctos que figuran en la base de datos son: $0,03 \text{ mg l}^{-1}$ ($0,32 \text{ }\mu\text{M}$) y $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ ($0,53 \text{ }\mu\text{M}$). También se admitirían límites inferiores a estos.

Para el amonio se han admitido todos los valores que figuran como límite de cuantificación en la base de datos. Estos son: $0,01 \text{ mg l}^{-1}$ ($0,56 \text{ }\mu\text{M}$), $0,03 \text{ mg l}^{-1}$ ($1,67 \text{ }\mu\text{M}$) y $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ ($2,78 \text{ }\mu\text{M}$).

Verificación de los datos

Los datos de nutrientes son revisados, uno a uno, con el fin de detectar valores anómalos. La existencia de un pico de amonio o fosfato en zonas donde “a priori” no se esperan (por ejemplo, en la zona marina de un estuario donde no haya constancia de vertidos importantes) puede deberse a la contaminación de la muestra, o a una errata en la base de datos.

Para detectar valores anómalos, se comparan los datos con los máximos que figuran en otra serie de larga duración, la de la Red de Seguimiento del Estado Ecológico de las Aguas de Transición y Costeras de la CAPV (de aquí en adelante “La Red”), que ha llevado a cabo el Gobierno Vasco desde 1994 y que actualmente realiza URA. La información de “La Red” puede descargarse en: <http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/>

Los máximos históricos de “La Red”, registrados entre 1994 y 2010, en el conjunto de doce estuarios de Bizkaia y Gipuzkoa, se resumen en la **Tabla 4**. Cuando un valor de la base de datos de la Diputación supera el máximo histórico de “La Red”, se considera dudoso y se procede a considerar su exclusión. No obstante, en muy pocas ocasiones se ha visto necesario eliminar datos. En el caso del amonio, en la Regata Molinao (Oiartzun) se encontraron valores de ese orden e incluso superiores en los primeros años de medidas, que posiblemente indicaban vertidos de aguas residuales y, por ello, no fueron eliminados.

Tabla 4. Valores máximos de salinidad, nutrientes y turbidez, en el conjunto de los estuarios del País Vasco en el periodo 1994-2010. Datos tomados de “La Red” (Agencia Vasca del Agua- Uraren Euskal Agentzia).

ZONA ESTUÁRICA	Salinidad (PSU)	Amonio (µM)	Nitrato (µM)	Nitrito (µM)	Fosfato (µM)	Turbidez (NTU)
<18 PSU (tramo superior)	17,5	690	300	122	42	236
18–30 PSU (tramo medio)	30,0	778	235	35	18	189
>30 PSU (tramo inferior)	35,4	800	230	92	40	137

Las condiciones fisicoquímicas del agua en los estuarios se encuentran sometidas a variaciones que se relacionan con la salinidad. Por ello, se han diferenciado tres zonas a partir de su valor máximo de salinidad (17,5, 30,0 y 35,4 PSU). Estos valores de salinidad están indicando diferente influencia del río y el mar.

Podría asumirse que la zona cuyo máximo de salinidad es 17,5 PSU corresponde a la de mayor influencia fluvial, la que tiene el máximo en 30,0 PSU es una zona donde predominan los procesos de mezcla y la de 35,4 PSU se encuentra muy influida por el mar. En general, estas zonas ocupan, respectivamente, el tramo superior o cabecera del estuario, el tramo medio y el tramo inferior.

Como puede observarse en la **Tabla 4**, en “La Red” los máximos históricos de amonio (~700–800 µM) son muy similares en las tres zonas salinas, lo que pone de manifiesto que ha habido vertidos de aguas residuales con diferente localización a lo largo de los estuarios del País Vasco.

Interpretación de los datos en el contexto actual

Para comparar los datos de años recientes con otras fuentes de información, se ha hecho uso de nuevo de los datos de “La Red”, utilizando en este caso sólo los del año 2009. En la **Tabla 5** se presentan los máximos. En este caso, los datos también se han separado según la salinidad.

Estos máximos, más recientes, son muy inferiores a los de épocas anteriores (los de la **Tabla 4**) y pueden considerarse característicos de estuarios que presentan sistemas de saneamiento más eficientes.

Tabla 5 Valores máximos de nutrientes y turbidez, en el conjunto de los estuarios del País Vasco en 2009. Datos tomados de “La Red” (Agencia Vasca del Agua- Uraren Euskal Agentzia).

ZONA ESTUÁRICA	Amonio (µM)	Nitrato (µM)	Nitrito (µM)	Fosfato (µM)	N total (µM)	P total (µM)	Turbidez NTU
<18 PSU (tramo superior)	12	74	3,3	4,6	154	7,1	64
18–30 PSU (tramo medio)	14	45	2,0	1,4	100	2,6	58
>30 PSU (tramo inferior)	19	27	0,7	1,4	79	2,5	62

Para el nitrato, nitrito y N total, los máximos de 2009 siguen un patrón de variación espacial descendiendo hacia el tramo inferior, a medida que aumenta la salinidad (**Tabla 5**). Este es el patrón de variación esperado ya que las aguas fluviales, de forma natural, son más ricas en nutrientes que las del medio marino.

Sin embargo, este patrón de disminución con la salinidad no se observa para el amonio, fosfato, P total y turbidez (**Tabla 5**). Los picos de estas variables (especialmente, el amonio y el fosfato) suelen reflejar vertidos de aguas residuales domésticas. Esto indica que en años recientes aún es posible que se produzcan vertidos en la parte media e inferior de los estuarios donde hay núcleos de población importantes (por ejemplo, el Nervión o el Bidasoa). También podría haber vertidos actualmente en estuarios cuya salinidad es relativamente alta a lo largo de toda su extensión (esto es, en el Oiartzun). Todo ello, en un contexto en el que los aportes antrópicos de estos nutrientes han disminuido considerablemente respecto a los que había en las décadas anteriores.

Comparación de los datos con niveles de referencia

La serie histórica de nutrientes de la Diputación cuenta con más de 20 años de medidas en muchas de las estaciones de muestreo (salvo en el tramo inferior, de influencia más marina) y los estuarios contabilizan entre 1000 y 2000 datos. Sin embargo, la mayoría de los datos de nutrientes de la Diputación están asociados a una baja salinidad debido a que han sido, en su mayor parte, medidos en la zona superior de los estuarios (Revilla et al., 2011b).

Teniendo en cuenta el predominio de muestras de baja salinidad en la serie de nutrientes de la Diputación, se han aplicado como objetivos de calidad los límites entre las clases de estado *Bueno/Moderado* establecidos para aguas oligohalinas en la última revisión del Plan Hidrológico (URA, 2021) y que se resumen en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Límites de cambio de clase para masas de agua de transición basados en la concentración de nutrientes (URA, 2021): MB/B (límite entre las clases de estado *Muy bueno/Bueno*) y B/Mo (límite entre las clases de estado *Bueno/Moderado*). Los límites que le corresponden a una estación de muestreo dependen de su salinidad y hay que interpretarlos como un promedio para un rango amplio de condiciones de caudal y marea. Los límites aplicados en este informe son los de aguas oligohalinas.

Estación de muestreo*	Amonio (μM)		Nitrato (μM)		Fosfato (μM)	
	MB/B	B/Mo	MB/B	B/Mo	MB/B	B/Mo
Oligohalina (0–5 PSU)	$\leq 18,6$	$\leq 51,6$	$\leq 52,3$	$\leq 212,5$	$\leq 1,82$	$\leq 5,13$
Mesohalina (5–18 PSU)	$\leq 13,7$	$\leq 34,3$	$\leq 34,3$	$\leq 121,3$	$\leq 1,33$	$\leq 3,39$
Polihalina (18–30 PSU)	$\leq 7,5$	$\leq 18,6$	$\leq 14,8$	$\leq 52,3$	$\leq 0,72$	$\leq 1,82$
Euhalina estuárica (30–34 PSU)	$\leq 3,7$	$\leq 9,1$	$\leq 5,5$	$\leq 19,6$	$\leq 0,35$	$\leq 0,88$

* La clasificación de la estación se mantiene fija a lo largo de los años y es la que se realizó en 2014 con la mediana (percentil 50) de todos los datos de salinidad disponibles entonces.

2.3 Análisis de anomalías en variables meteorológicas e hidrográficas

Continuando con el estudio realizado hace cinco años, se ha analizado nuevamente el régimen fluvial y pluvial del **Urola** (Revilla et al., 2017). Así, se han actualizado hasta 2022 inclusive las series de **caudal y precipitación** de la estación de aforo y de calidad de aguas AIZARNAZABAL B2Z1 de la red de estaciones permanentes de la Diputación Foral de Gipuzkoa (<https://www.gipuzkoa.eus/es/web/obrahidraulikoak/hidrologia-y-calidad/red-de-estaciones-permanentes>).

Asimismo, también se han utilizado los datos de **caudal del estuario de la Gironde** (ríos Garona y Dordoña) para comprobar si los cambios de régimen del río Urola se producen a escala local o si, por el contrario, responden a cambios climáticos a escala regional. Los datos de caudal del estuario de la Gironde se han obtenido en el portal HYDROPORTAIL (<https://hydro.eaufrance.fr/>).

Como **índice de variabilidad climática** se ha utilizado la Oscilación del Atlántico Norte (**NAO**, por sus siglas en inglés). La NAO es un modo dominante de la variabilidad climática invernal del Atlántico Norte (Barnston y Livezey, 1987). El índice se define como la diferencia de anomalías entre la alta presión subtropical (Azores) y la baja presión polar (Islandia). La fase positiva conlleva un clima más seco y frío en el sur y centro de Europa (**Figura 7**).

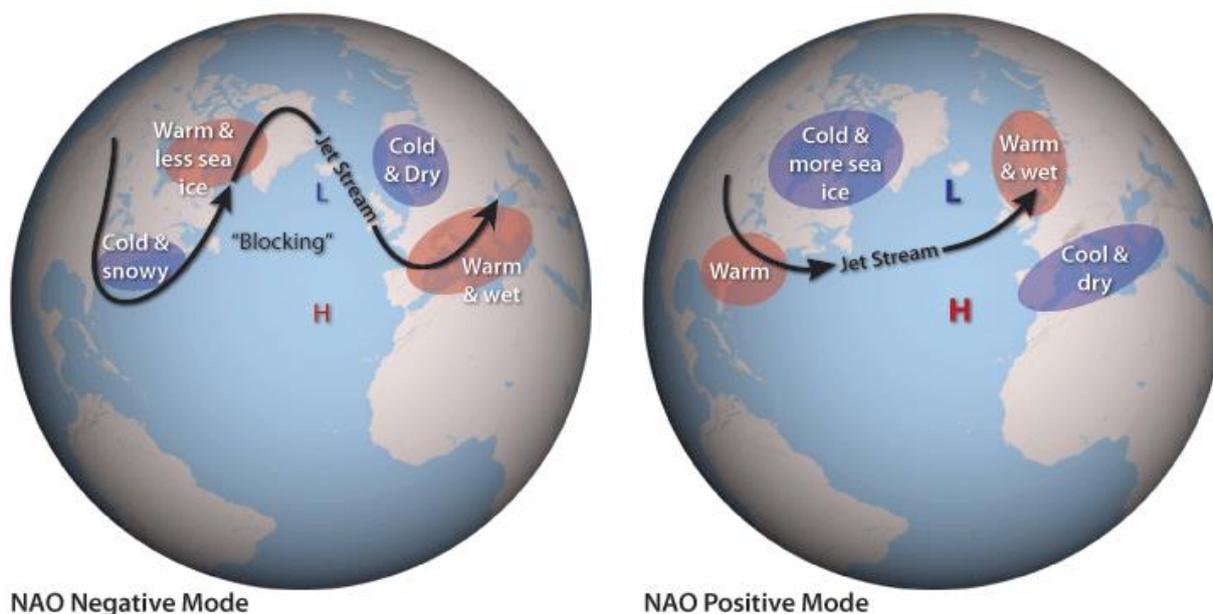


Figura 7. Fases negativa y positiva de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponible en: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-north-atlantic-oscillation>.

El tratamiento de los datos de caudal y precipitación ha consistido primero en un promediado mensual, para suavizar la variabilidad de alta frecuencia del dato diario. Luego, se han calculado las **anomalías mensuales**. Estas anomalías representan la desviación del valor de un mes concreto respecto al valor medio de la serie completa correspondiente a ese mismo mes. El periodo de referencia considerado en este trabajo ha sido la longitud de la serie completa, **1997-2022**.

Posteriormente, las anomalías se han estandarizado o dividido por la desviación estándar de largo plazo. Las **anomalías estandarizadas** se expresan en unidades de desviaciones estándar respecto a la media de largo plazo. Este procedimiento resulta especialmente útil para poder comparar variables con unidades diferentes y para aportar más información sobre la magnitud de las anomalías ya que se elimina la influencia de la dispersión de los datos.

Además, se han construido **diagramas Hövmoller** con las anomalías estandarizadas de caudal y precipitación del Urola, con el fin de representar la evolución de las mismas respecto al ciclo estacional y a lo largo de los 26 años de la serie.

Por último, se han calculado las **anomalías acumuladas** con los datos de caudal del Urola y de la Gironde, así como con los de la NAO. Las anomalías acumuladas son el resultado de sumar sucesivamente cada una de las anomalías mensuales y su representación a lo largo del tiempo resulta un procedimiento muy adecuado y sencillo para evidenciar cambios de régimen. Así una pendiente negativa indica un periodo donde persisten valores por debajo de la media de largo plazo, mientras que una pendiente positiva señala una tendencia opuesta.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Concentración de clorofila en los estuarios de Gipuzkoa

3.1.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal

Los datos de clorofila obtenidos en las muestras de agua de superficie tomadas en 2022, esto es, desde el informe previo, pueden consultarse en los ANEXOS. En estos se indica también la salinidad medida “in situ” en el momento de la toma de las muestras.

En informes previos se señalaba que las mayores concentraciones de clorofila habían tenido lugar en aguas de salinidad relativamente baja, habiéndose registrado picos entre 50 y casi 200 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ en el tramo oligohalino (0–5 PSU) y en el mesohalino (5–18 PSU), pero con más frecuencia e intensidad en el primero. Por el contrario, en aguas de carácter polihalino (18–30 PSU) y euhalino (>30 PSU) la concentración había sido siempre inferior a 50 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ y en pocas ocasiones había superado 20 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ (**Figura 8**). Este patrón también se ha confirmado en los años más recientes, por ejemplo, en 2021 se llegaron a medir aproximadamente 108 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ en aguas oligohalinas (~2 PSU) de la zona superior del Urola. En 2022 el valor más alto ha sido de casi 60 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ y se ha registrado en la zona superior del Oria, también con una salinidad de unos 2 PSU (ANEXOS).

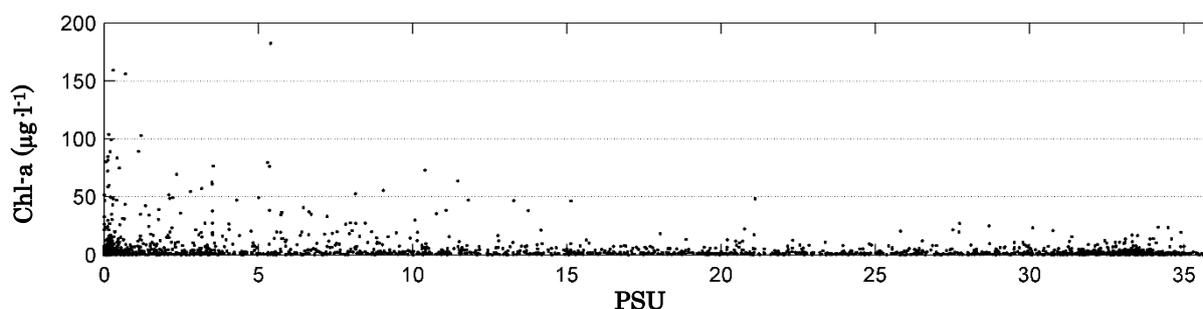


Figura 8. Distribución de la concentración de clorofila “a” (Chl-a) respecto a la salinidad (PSU), considerando todos los datos medidos, desde 1998 hasta 2017, en el conjunto de los estuarios de Gipuzkoa.

El patrón que sigue la clorofila con la salinidad se explica, en parte, por el mayor contenido en nutrientes de la fracción de agua dulce, que estimulará el crecimiento fitoplanctónico. Aunque es habitual que los máximos de clorofila se encuentren en la zona superior de los estuarios, donde el efecto fertilizador de las aguas del río es mayor, algunos picos se han medido en zonas estuáricas más cercanas al mar, pero en situaciones de bajamar y asociados también a aguas de baja salinidad (por ejemplo, en la estación DEB54900S en mayo de 2021, unos 65 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

Por otro lado, los procesos físicos de acumulación de partículas que se dan en la zona superior de los estuarios en situaciones de baja descarga fluvial afectan a la distribución espacial de los máximos de clorofila. Hay que tener en cuenta que el tiempo de residencia del agua aumenta en estas zonas (siempre y cuando no haya riadas) debido a que la influencia de la marea es menor en ellas. Por ello, el crecimiento y acumulación del fitoplancton en la cabecera de los estuarios se ve más favorecido en épocas de estabilidad atmosférica, ya que al efecto de la radiación solar se le une una menor turbidez en las aguas y una menor dispersión de las células. El patrón de aumento de la clorofila hacia las zonas de menor salinidad en los estuarios del País Vasco, especialmente en verano, ha sido descrito en varios estudios (p.ej., Villate et al., 1991; Franco, 1994; Borja et al., 2010).

Además de esta influencia indirecta de la salinidad sobre el fitoplancton (por las condiciones de nutrientes asociadas al porcentaje de agua dulce, así como la turbidez y el descenso del tiempo de residencia con las riadas), la respuesta fisiológica a la salinidad varía entre especies, con óptimos que van desde el agua dulce hasta el agua marina.

En cuanto a la variabilidad temporal, en 2013 se realizó un estudio de la estacionalidad de la concentración de clorofila “a” en los puntos donde actualmente la Diputación de Gipuzkoa mide dicha variable, esto es, en 4 estaciones de muestreo dentro del Oiartzun y en 3 estaciones en cada uno de los restantes estuarios (véase **Tabla 1**, Metodología). El ciclo anual descrito para cada estuario puede consultarse con detalle en Revilla et al. (2013). Aunque no fue posible describir un patrón en todas las estaciones de muestreo, la mayoría tendían a presentar valores muy bajos de clorofila en invierno. En algunas los picos se detectaban desde primavera hasta otoño, mientras que en otras tenían lugar solo en verano, o de forma bimodal (por ejemplo, a principios de primavera y a finales de verano). Dicho estudio ayudó a establecer la época del año de mayor crecimiento del fitoplancton y, por tanto, de mayor riesgo de eutrofización, que fue la del periodo desde abril hasta octubre.

En la **Tabla 7** se presentan los valores mínimos y máximos de concentración de clorofila “a” registrados a lo largo de las series temporales, considerando únicamente el periodo de mayor crecimiento (abril-octubre). En dicho periodo, la concentración de clorofila “a” en el conjunto de los datos de los estuarios guipuzcoanos ha oscilado entre menos de 0,1 y 182,4 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Estas concentraciones se encuentran en el rango que se cita en la literatura científica para estuarios de latitudes medias. Por ejemplo, Mallin (1994) observó concentraciones de clorofila comprendidas entre 0 y 184 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ en varios estuarios de Carolina del Norte (EE. UU.).

Tabla 7. Valores mínimos y máximos de concentración de clorofila “a”, Chl-a ($\mu\text{g l}^{-1}$) en cada una de las zonas de los estuarios de Gipuzkoa, a lo largo de las series temporales más largas disponibles y en el periodo de mayor crecimiento del fitoplancton (abril-octubre). Los tramos se han definido en base al valor de la mediana de la salinidad calculada en dichas series temporales y aplicando los criterios que señalan en la **Tabla 3**.

Estuario	Estación	Zona	Serie	Salinidad (mediana)	Tramo	Chl-a mínimo	Chl-a máximo
Deba	DEB5000S	Superior	1999-2022	0,2	Oligohalino	0,2	72,4
	DEB53400S	Media	1999-2022	4,5	Oligohalino	$\leq 0,1$	81,5
	DEB54900S	Inferior	1999-2022	15,9	Mesohalino	$\leq 0,1$	64,8
Urola	URO55000S	Superior	1999-2022	2,9	Oligohalino	$\leq 0,1$	156,2
	URO57000S	Media	1999-2022	16,7	Mesohalino	$\leq 0,1$	47,3
	URO58700S	Inferior	1999-2022	23,5	Polihalino	$\leq 0,1$	19,7
Oria	ORI62400S	Superior	1999-2022	0,5	Oligohalino	0,1	103,0
	ORI67200S	Media	1999-2022	13,8	Mesohalino	0,1	46,6
	ORI70700S	Inferior	2001-2022	27,3	Polihalino	$\leq 0,1$	48,5
Urumea	URU44000S	Superior	1999-2022	0,2	Oligohalino	$\leq 0,1$	80,2
	URU46600S	Media	1999-2022	9,7	Mesohalino	0,2	182,4
	URU49000S	Inferior	2001-2022	29,5	Polihalino	$\leq 0,1$	24,4
Oiartzun	OIA14000S	Superior	1998-2022	30,3	Euhalino	$\leq 0,1$	21,9
	OIA15000S	Media	1998-2022	31,6	Euhalino	$\leq 0,1$	25,0
	OIA16700S	Inferior	1998-2022	33,4	Euhalino	$\leq 0,1$	19,6
	OIA16200S	Dársena	1998-2022	31,8	Euhalino	$\leq 0,1$	23,8
Bidasoa	BID07600S	Superior	1999-2022	1,7	Oligohalino	0,2	89,3
	BID10350S	Media	1999-2022	11,0	Mesohalino	$\leq 0,1$	76,7
	BID13300S	Inferior	2001-2022	26,0	Polihalino	$\leq 0,1$	13,8
Total					$\leq 0,1$	182,4	

Los valores máximos de clorofila difieren mucho entre distintas zonas de un mismo estuario, como puede verse en la **Tabla 7**. Como ya se ha señalado en el apartado anterior, las concentraciones más elevadas se asocian en estos estuarios a aguas de baja salinidad. En lo que se refiere al periodo abril-octubre, se observan máximos que han superado $100 \mu\text{g l}^{-1}$ en las zonas superiores del Urola y del Oria (aguas oligohalinas) y en zona media del Urumea (aguas mesohalinas). En los tramos polihalinos, que caracterizan las zonas media o inferior de algunos estuarios, es raro encontrar concentraciones superiores a $25 \mu\text{g l}^{-1}$ (únicamente en el Oria, con casi $50 \mu\text{g l}^{-1}$). En los tramos euhalinos el máximo absoluto registrado en la serie temporal ha sido $25 \mu\text{g l}^{-1}$ (Oiartzun).

3.1.2 Tendencias a largo plazo de la clorofila en cada estuario

Para estudiar la evolución temporal de la concentración de clorofila se ha calculado el percentil 90 sobre periodos móviles de seis años, con la serie de datos recopilada hasta la actualidad. Así, el

primer periodo abarca desde 1998 hasta 2003, y el último desde 2017 hasta 2022. Como se comenta en la Metodología, en este análisis sólo se incluyen datos de abril a octubre inclusive.

En la **Tabla 8** se sintetizan los resultados para cada zona de los estuarios. Debido a que la frecuencia de muestreo ha variado a lo largo del tiempo, el tamaño de la muestra (N) no es idéntico en todos los periodos analizados. En el conjunto de los periodos evaluados, 13 datos es el tamaño mínimo y 26 el máximo. En cuanto a la magnitud del percentil 90, éste varió entre 1,1 y 58,1 $\mu\text{g l}^{-1}$. Los máximos absolutos en cada estuario se observan en la zona superior, con la excepción del Bidasoa, que lo presenta en la zona media. Además, el máximo de la dársena de La Herrera, en el Oiartzun, es muy similar al de la zona superior de este estuario. Los mínimos absolutos se localizan en todos los estuarios en la zona inferior, la de carácter más marino.

Tabla 8. En cada estación de muestreo se indica el número de datos (N) mínimo y máximo que presentan los periodos de 6 años para los cuales se ha calculado el percentil 90. También se indica el rango (valor mínimo y máximo) del percentil 90 (P90) obtenido con los datos de concentración de clorofila "a" ($\mu\text{g l}^{-1}$).

Estuario	Estación	Zona	Serie temporal	N		P90	
				Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Deba	DEB5000S	Superior	1999-2022	17	26	8,2	23,6
	DEB53400S	Media	1999-2022	17	26	14,8	20,5
	DEB54900S	Inferior	1999-2022	17	26	3,5	10,4
Urola	URO55000S	Superior	1999-2022	18	26	13,3	54,9
	URO57000S	Media	1999-2022	13	26	3,2	9,5
	URO58700S	Inferior	1999-2022	18	25	2,0	5,2
Oria	ORI62400S	Superior	1999-2022	16	26	29,2	54,9
	ORI67200S	Media	1999-2022	17	26	2,7	27,8
	ORI70700S	Inferior	2001-2022	16	26	1,1	12,2
Urumea	URU44000S	Superior	1999-2022	18	26	12,6	58,1
	URU46600S	Media	1999-2022	18	25	4,6	27,0
	URU49000S	Inferior	2001-2022	18	26	1,8	4,0
Oiartzun	OIA14000S	Superior	1998-2022	17	24	5,0	16,2
	OIA15000S	Media	1998-2022	17	24	5,7	12,8
	OIA16700S	Inferior	1998-2022	15	24	3,2	6,6
	OIA16200S	Dársena	1998-2022	17	24	5,9	14,9
Bidasoa	BID07600S	Superior	1999-2022	18	25	4,8	16,6
	BID10350S	Media	1999-2022	19	26	5,7	41,7
	BID13300S	Inferior	2001-2022	18	26	3,1	5,6
Total				13	26	1,1	58,1

A continuación, se presenta gráficamente la evolución temporal del percentil 90 de la clorofila y se hace una evaluación de la calidad de las aguas basada en el índice descrito en la Metodología.

Estuario del Deba

En la zona superior el índice presenta valores muy altos recientemente, como también lo hacía en la década del 2000 (**Figura 9 A**). En esta zona la influencia de la marea es muy leve, como puede verse por su baja salinidad (**Tabla 7**) y es posible que esos picos reflejen la acumulación del fitoplancton en épocas de baja descarga fluvial. En la zona media, aunque con algunas oscilaciones, a largo plazo el índice está tendiendo a disminuir (**Figura 9 B**). La zona inferior es la que presenta la mejor calidad según la clorofila (**Figura 9 C**).

En la serie histórica, los valores más elevados de concentración de clorofila suelen observarse en primavera. Por ejemplo, en la zona inferior (estación DEB54900S) el máximo absoluto se midió en mayo de 2021 ($64,8 \mu\text{g l}^{-1}$). El máximo registrado hasta entonces en esta zona también correspondía a una muestra de primavera, abril de 2015 ($35 \mu\text{g l}^{-1}$). En abril de 2015 se midieron, además, los máximos absolutos de la zona media ($81,5 \mu\text{g l}^{-1}$) y superior ($72,4 \mu\text{g l}^{-1}$). Estos dos últimos picos estuvieron asociados a aguas de muy baja salinidad, de carácter prácticamente fluvial ($<0,5 \text{ PSU}$).

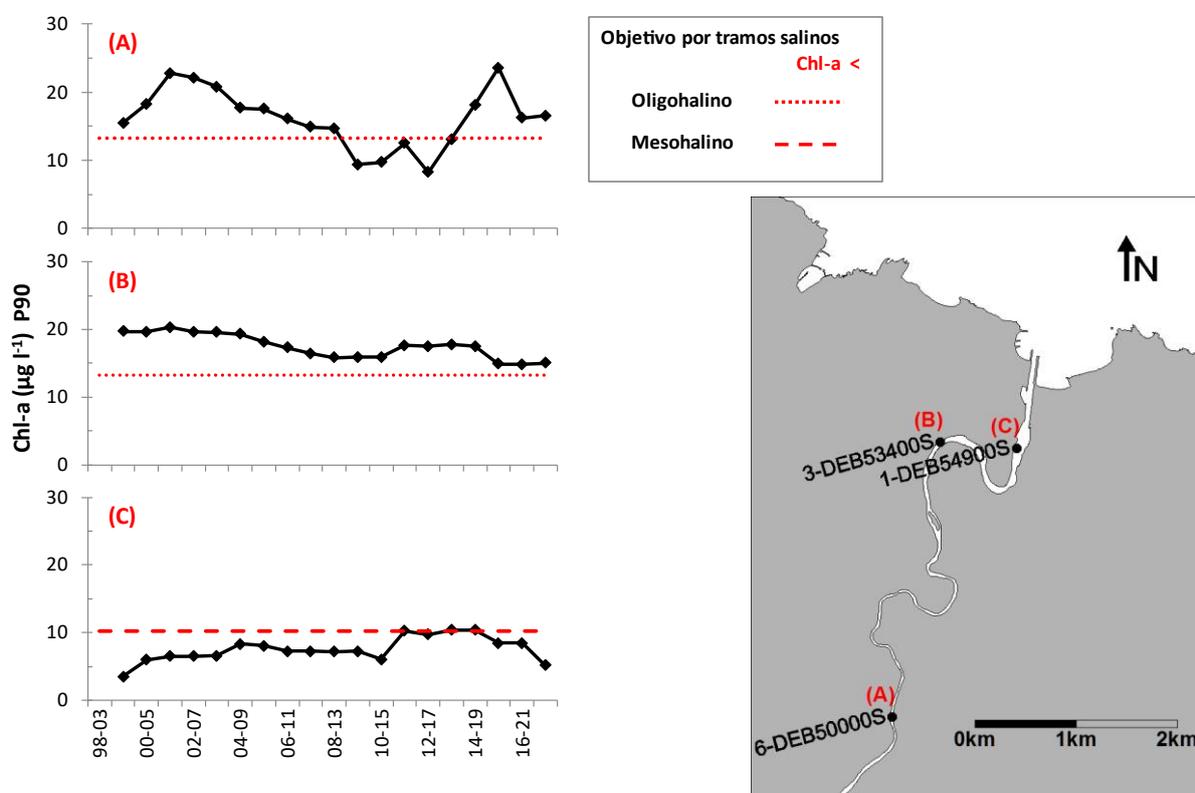


Figura 9. Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en tres estaciones del estuario del Deba: (A) DEB50000S (zona superior); (B) DEB53400S (zona media); (C) DEB54900S (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica.

Estuario del Urola

En la zona superior el percentil 90 de la clorofila muestra hasta 2013 valores bastante estables, que lo sitúan cerca del umbral que separa el estado *Bueno* del *Moderado* (**Figura 10 A**). Sin embargo, el índice repunta en 2014, indicando situaciones de exceso de biomasa fitoplanctónica en esa zona. Así, en aguas de carácter oligohalino, en la primavera y verano de 2014 y 2015 se midieron con frecuencia concentraciones en el rango de 20–40 $\mu\text{g l}^{-1}$. Además, en mayo de 2016 se midió el máximo histórico de este estuario ($\sim 150 \mu\text{g l}^{-1}$) en aguas de muy baja salinidad (0,7 PSU). La disminución de las precipitaciones y el caudal fluvial en primavera durante el periodo 2014–2016 posiblemente propició algunos de estos picos de clorofila. En mayo de 2021 se midió un pico de $\sim 108 \mu\text{g l}^{-1}$ en aguas oligohalinas, lo que hizo que aumentara aún más el percentil en esta zona.

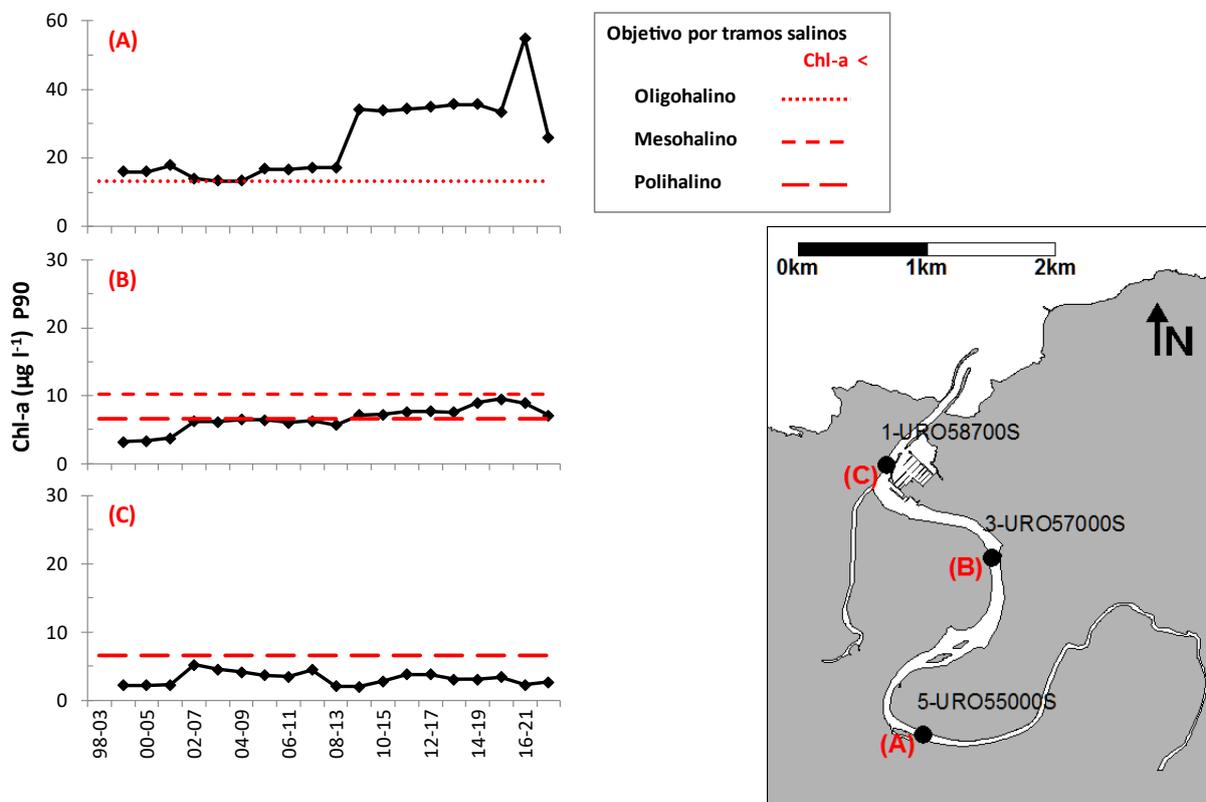


Figura 10. Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en tres estaciones del estuario del Urola: (A) URO55000S (zona superior); (B) URO57000S (zona media); (C) URO58700S (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica. Se muestran dos umbrales en el caso de que la estación se encuentre muy cerca del límite entre dos tramos salinos (**Tabla 7**).

En las zonas media e inferior, con este índice, no se puede afirmar que haya habido exceso de clorofila (**Figura 10 B, C**). No obstante, en la zona media se percibe una ligera tendencia de aumento. El valor máximo en esta zona se registró en mayo de 2016 ($47 \mu\text{g l}^{-1}$). En esta zona el número de datos utilizado para el cálculo del percentil 90 ha sido bastante menor en los últimos años. Esto es

debido a que, desde 2014 en algunas campañas no fue posible tomar muestra para el análisis de clorofila en la estación URO57000S al no haber suficiente caudal.

Estuario del Oria

En la zona superior (a la altura de los primeros embarcaderos de Aguinaga) se observaron de manera muy frecuente durante la década del 2000 picos de clorofila cercanos a $50 \mu\text{g l}^{-1}$, y en algún caso de hasta 75 y $100 \mu\text{g l}^{-1}$. Estos se produjeron en su mayoría en verano. Esto indica que el estuario presentaba floraciones fitoplanctónicas de alta intensidad que podrían deberse a una alta presión antrópica en esa zona. También hay que tener en cuenta las condiciones de prolongado estiaje que se dieron en la primera mitad de la década del 2000, que habrían favorecido la retención del fitoplancton en la zona más influida por el río. En la década de 2010 los picos fueron menos frecuentes e intensos, lo que hizo que disminuyera el percentil 90, aunque aún lejos de quedar por debajo del umbral de $13,2 \mu\text{g l}^{-1}$ correspondiente a aguas de tipo oligohalino (**Figura 11 A**). Desde 2019 se han registrado de nuevo concentraciones en torno a $50\text{--}60 \mu\text{g l}^{-1}$, pero en diferentes épocas del año (abril, septiembre y octubre), y esto ha producido un aumento del índice.

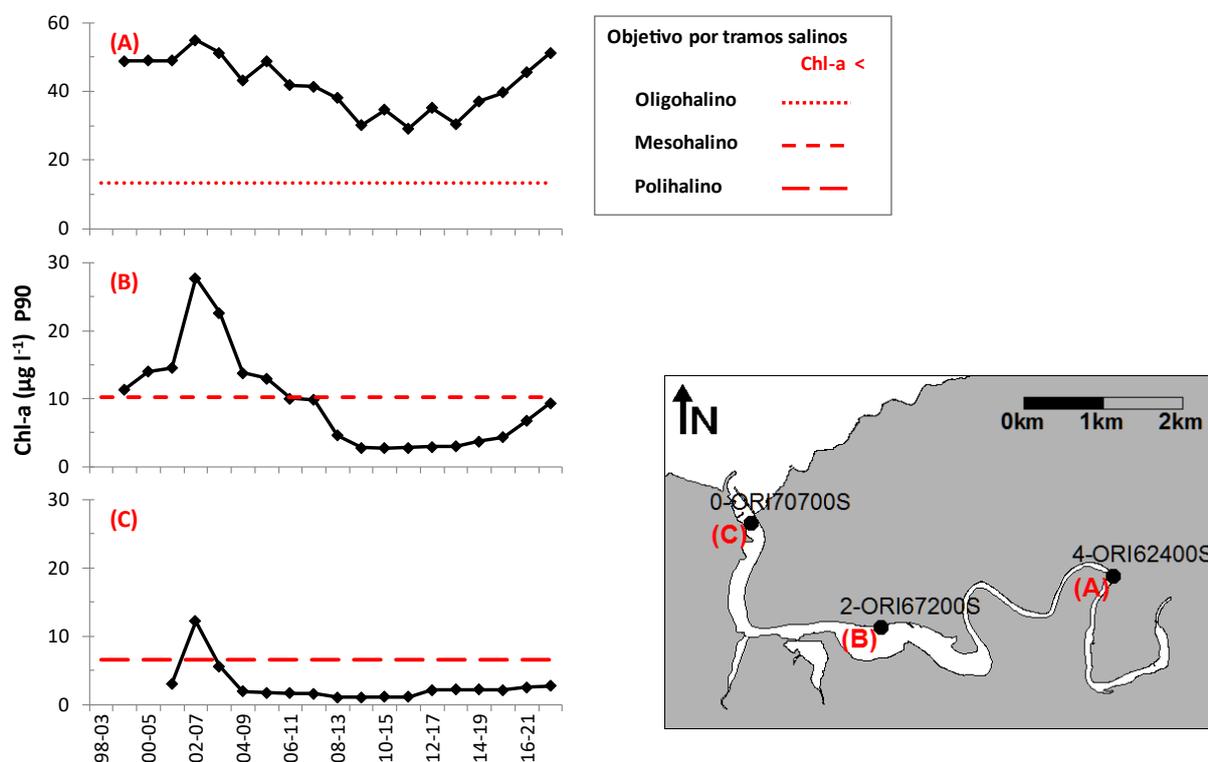


Figura 11. Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en tres estaciones del estuario del Oria: (A) ORI62400S (zona superior); (B) ORI67200S (zona media); (C) ORI70700S (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica.

En la zona inferior y en la zona media del estuario del Oria, el percentil 90 de la clorofila indica problemas de eutrofización sólo a mediados de la década del 2000 (**Figura 11 B, C**). Actualmente se sitúa por debajo del umbral, aunque tiende a aumentar en la zona media, esto es, en la estación situada a la altura de Astilleros Atxega (aguas de carácter mesohalino).

Estuario del Urumea

En la zona superior, el percentil 90 de la clorofila manifiesta fuertes cambios a lo largo del tiempo. A comienzos de la década del 2000 es relativamente bajo e indica que la biomasa fitoplanctónica no es excesiva. Sin embargo, pocos años después aumenta considerablemente. Desde finales de la década del 2000 se sitúa más cerca del valor umbral, lo cual indica el retorno a una mejor calidad del fitoplancton (**Figura 12 A**).

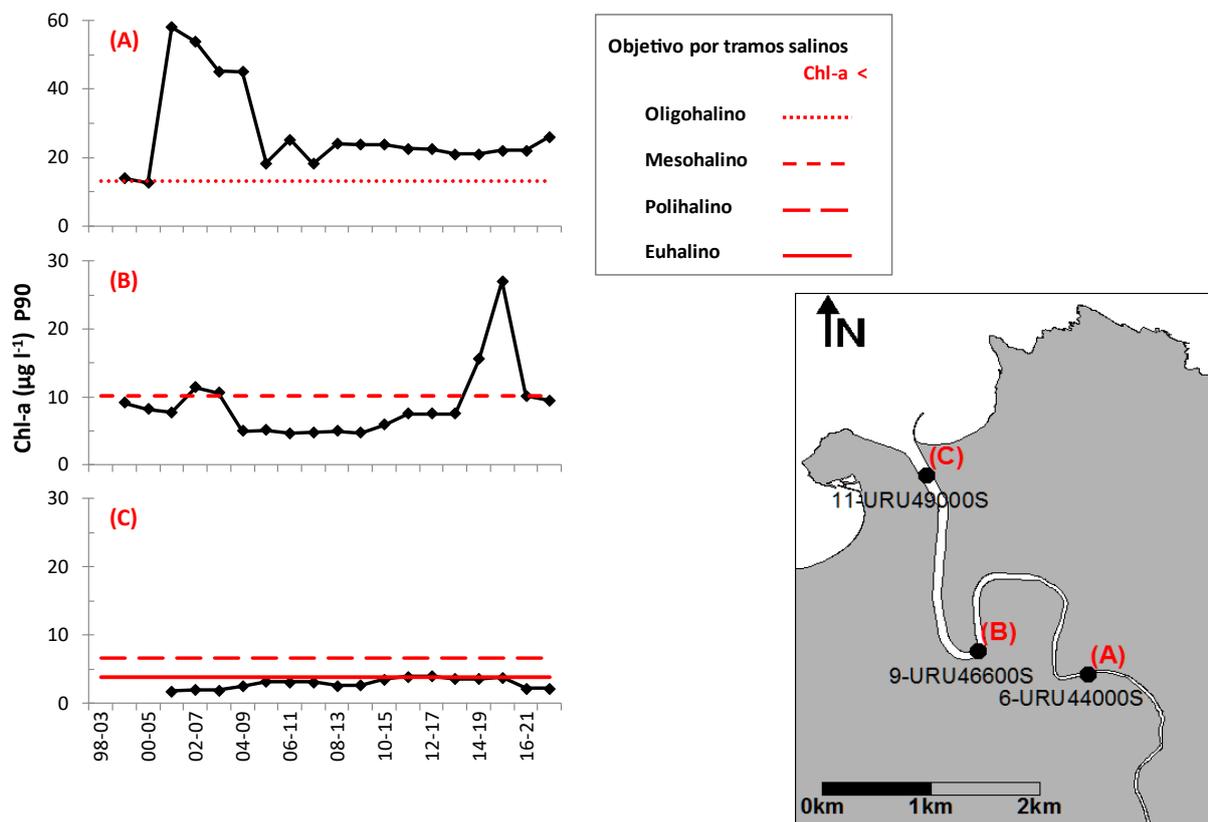


Figura 12. Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en tres estaciones del estuario del Urumea: (A) URU44000S (zona superior); (B) URU46600S (zona media); (C) URU49000S (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica. Se muestran dos umbrales en el caso de que la estación se encuentre muy cerca del límite entre dos tramos salinos (**Tabla 7**).

El saneamiento realizado en los años 90, desviando los vertidos de aguas residuales de la zona de Hernani, Astigarraga y Martutene a un colector, se ha reflejado en la mejoría que experimenta el

oxígeno y los nutrientes (amonio y fosfato) en el estuario del Urumea en los años posteriores. Por el contrario, la clorofila en la zona superior del estuario (Estación URU44000S, Puente del Barrio Txomin-Enea) presenta una respuesta de aumento (indicadora de problemas de eutrofización) en los años en que precisamente mejoran las condiciones fisicoquímicas del agua (oxígeno y nutrientes). Sin embargo, no es de extrañar una respuesta así en la clorofila como efecto de la descontaminación del estuario. Hay que tener en cuenta que los vertidos sin tratar pueden contener sustancias tóxicas para la biota, incluido el fitoplancton. Por ejemplo, el amonio en elevadas concentraciones inhibe el crecimiento de muchas especies de algas.

Estudiando los datos a mayor detalle, puede verse que los elevados valores de percentil 90 encontrados en la cabecera del estuario se deben a floraciones que tuvieron lugar en 2004 y 2006 (concentraciones en el rango de 60–80 $\mu\text{g l}^{-1}$). Se pueden establecer dos hipótesis para explicar dichos episodios en la cabecera del Urumea:

(1) mejores condiciones lumínicas (menor turbidez) por el desvío de vertidos, pero se descarta a la vista del estudio de la tendencia temporal de dicha variable realizado en un informe anterior (Revilla et al., 2011b).

(2) factores meteorológicos que derivaron en una menor descarga fluvial. Tal y como se describe en anteriores informes: hubo sequía estival y mínimos de oxígeno en 1999, 2001, 2003, 2004 y 2005; y mínimos de oxígeno de nuevo en 2006. Por lo tanto, las condiciones meteorológicas es probable que favorecieran una acumulación de fitoplancton en el Urumea.

En la cabecera del estuario del Urumea después de los intensos blooms que tuvieron lugar a mediados de la década del 2000 no han vuelto a encontrarse concentraciones tan altas de clorofila.

Aguas abajo el índice generalmente ha indicado *Buen estado* (**Figura 12 B, C**). Sin embargo, hay que exceptuar la estación URU46600S (zona media) durante el periodo 2014-2019 y, especialmente, 2015-2020, cuando el percentil aumenta bruscamente y supera el valor umbral. En esta estación, situada a la altura del Puente de Hierro, en el año 2015 se registró un pico de clorofila de nivel moderado-alto, con $\sim 52 \mu\text{g l}^{-1}$, y en el 2016 se midió el máximo histórico del estuario ($\sim 182 \mu\text{g l}^{-1}$). Estos dos picos se observaron en el mes de junio, asociados a aguas de baja salinidad, y son los responsables de los máximos observados en el índice (**Figura 12 B**). En 2022 también se ha observado la concentración más alta de esta zona en el mes de junio, del orden de $20 \mu\text{g l}^{-1}$ (ANEXOS).

Estuario del Oiartzun

En la serie histórica, el percentil 90 de la clorofila varía entre 3,2 y 16,2 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ (**Figura 13**). Estos valores son bajos comparados con los de la mayoría de los estuarios guipuzcoanos. Sin embargo, hay que tener en cuenta la alta salinidad de este estuario, más cercana a la del agua marina (**Tabla 7**). Ello hace que el valor umbral utilizado para la clasificación de la calidad sea más bajo y, por lo tanto, más exigente (**Tabla 3**).

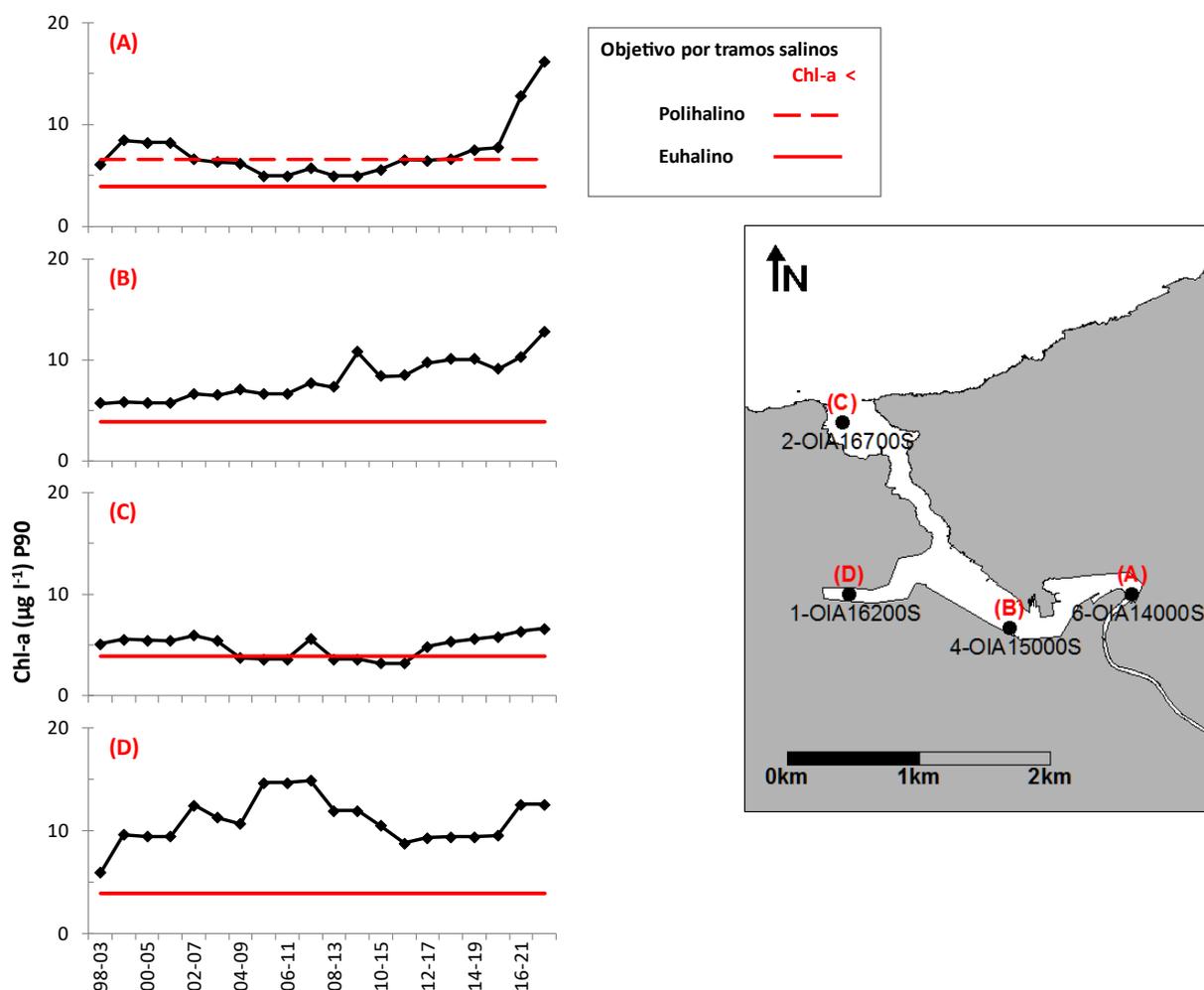


Figura 13. Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en cuatro estaciones del estuario del Oiartzun: (A) OIA14000S (zona superior); (B) OIA15000S (zona media); (C) OIA16700S (zona inferior); (D) OIA16200S (dársena de La Herrera). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica. Se muestran dos umbrales en el caso de que la estación se encuentre muy cerca del límite entre dos tramos salinos (**Tabla 7**).

Como puede verse en la **Figura 13 A**, en la parte más interna del estuario, cerca de la confluencia con el río Oiartzun, el percentil se ha mantenido cerca o por debajo del límite correspondiente a

aguas polihalinas durante la mayor parte de la serie. Sin embargo, ha ido en aumento desde mediados de la década de 2010. En los dos últimos periodos presenta valores indicadores de una alta tasa de acumulación de fitoplancton, reflejando picos de clorofila de $10\text{--}20 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ que se han hecho muy frecuentes durante primavera y verano (véanse ANEXOS de este informe y del año anterior).

En la estación OIA15000S (cerca a salida de la Regata Molinao) el índice mantiene una tendencia de incremento desde casi el comienzo de la serie, superando siempre el umbral de las aguas euhalinas y alcanzado el valor máximo en el último periodo (**Figura 13 B**). A diferencia del resto de estaciones, su comportamiento a largo plazo apenas intercala épocas con tendencias de disminución.

En la estación OIA16700S, la de carácter más marino, el percentil 90 de la clorofila se encuentra generalmente por encima del umbral de las aguas euhalinas (**Figura 13 C**), aunque no lo supera con tanta magnitud como en el resto de las estaciones. Los vertidos que se producen en la dársena de La Herrera es probable que afecten, debido al transporte originado por la marea, a esta zona.

El percentil 90 de la clorofila en el estuario del Oiartzun hasta el periodo 2008-2013 mostraba un patrón espacial claramente relacionado con la presión antrópica. Así, como puede verse en la **Figura 13 D**, la estación OIA16200S (dársena de La Herrera) presentaba valores muy por encima del resto y característicos de floraciones fitoplanctónicas de alta intensidad. Hay estudios que indicaban la existencia de vertidos de aguas residuales sin tratar en dicha dársena (Revilla et al., 2011c). Posteriormente, a lo largo de la década de 2010, se observó cierto descenso en el índice que llegó a situarlo en valores más cercanos a los del resto de estaciones, aunque todavía muy superiores al umbral. En los dos últimos periodos el índice ha vuelto a aumentar en esta zona, al haberse medido concentraciones cercanas o superiores a $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, en primavera o en verano (véanse ANEXOS de este informe y del año anterior).

Aunque hayan disminuido de manera importante los vertidos al estuario del Oiartzun, hay que tener en cuenta que esta masa de agua presenta una alta susceptibilidad a la eutrofización debido a su baja capacidad de renovación. Este estuario se encuentra entre los más profundos de la costa vasca (20 m) y por ello, su volumen es relativamente alto. Además, buena parte de su volumen es submareal y esto implica un tiempo de residencia largo, del orden de semanas (Valencia et al., 2004a, b; Montero et al. 2011). Por lo tanto, el llevar a cabo un buen saneamiento es importante en este estuario, especialmente en la dársena de La Herrera y en las zonas superior y media del puerto, donde la renovación se reduce considerablemente en situaciones de baja descarga fluvial.

Estuario del Bidasoa

Al comienzo de la serie temporal, los valores de percentil 90 en el estuario del Bidasoa eran inferiores a los del resto de los estuarios de Gipuzkoa, en estaciones de muestreo que presentaban una salinidad similar. Sin embargo, a finales de la década de 2000 el índice se incrementó en la zona de

cabecera (BID07600S, Puente de Behobia) y en la zona media (BID10350S, Puente de Santiago-Irún) (**Figura 14 A, B**). En esta última el índice superó ampliamente el umbral indicador de eutrofización hasta el periodo 2015-2020.

De hecho, en los años 2014 y 2015 figuran las concentraciones de clorofila más altas de la serie temporal de este estuario. La mayoría de estos picos se registraron en verano. Concretamente, en la zona superior, en julio de 2014 se midió $89 \mu\text{g l}^{-1}$. En la zona media, en julio de 2014 y septiembre de 2015, se midieron concentraciones cercanas a $50 \mu\text{g l}^{-1}$, y en junio de 2015, un pico de $77 \mu\text{g l}^{-1}$. Hasta esos años, el estuario del Bidasoa no presentaba problemas de acumulación excesiva de biomasa fitoplanctónica en ninguna de las estaciones estudiadas. Por ello, debería considerarse si hubo habido algún aporte de nutrientes de origen antrópico en la zona media-superior del estuario o si, por el contrario, el aumento de la biomasa se pudo deber a factores meteorológicos.

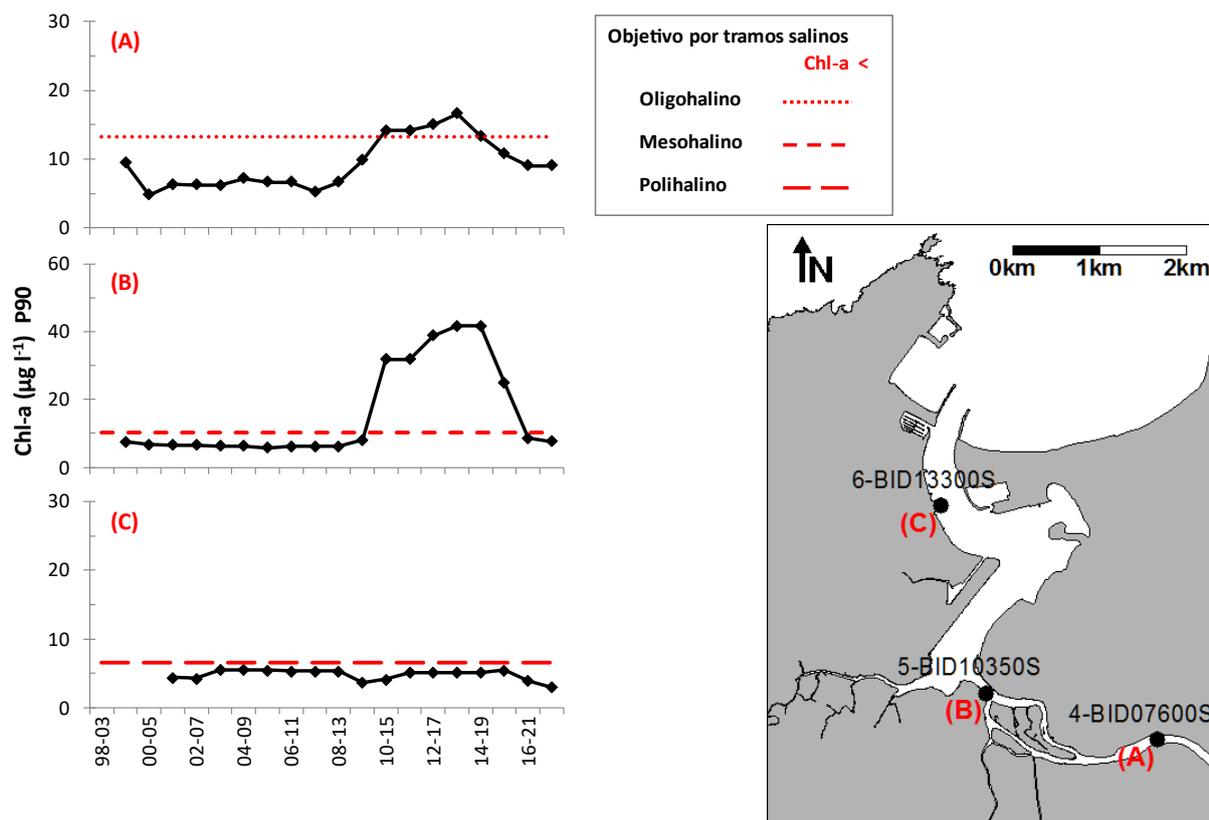


Figura 14. Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en tres estaciones del estuario del Bidasoa: (A) BID07600S (zona superior); (B) BID10350S (zona media); (C) BID13300S (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica.

Hay que indicar que este estuario, al igual que el del Oiartzun, presenta una alta susceptibilidad a la eutrofización debido a sus condiciones hidrográficas, dado que su volumen es grande y el tiempo de renovación del agua es lento (Revilla et al., 2011c). Por ello, resulta importante que no se produzcan

vertidos de aguas insuficientemente tratadas en el mismo, ya que ello podría producir un impacto en las comunidades biológicas.

Resumen de las tendencias observadas en la clorofila

En la serie de datos que abarca desde finales de los años 90, muchos de los máximos se han registrado a mediados de la década de 2010. Concretamente, en 2014 se midió el valor más alto del Bidasoa ($89 \mu\text{g l}^{-1}$), en 2015 el del Deba ($81 \mu\text{g l}^{-1}$), en 2016 el del Urola ($156 \mu\text{g l}^{-1}$) y también el del Urumea ($182 \mu\text{g l}^{-1}$). Estos máximos históricos se registraron en primavera (abril, mayo o junio), salvo el del Bidasoa (julio).

En años recientes los picos han sido de menor intensidad, aunque se dispone de pocos datos de 2018 y no se pudo muestrear en 2020 (Revilla et al., 2021). En 2019 el máximo se midió en septiembre en el Oria ($\sim 50 \mu\text{g l}^{-1}$), mientras que en 2021 se registraron picos en abril en el estuario del Oria ($54 \mu\text{g l}^{-1}$) y en mayo en el del Deba ($65 \mu\text{g l}^{-1}$) y en el del Urola ($108 \mu\text{g l}^{-1}$). Respecto a 2022, como puede verse en los ANEXOS, el máximo se ha medido en otoño, concretamente, en el estuario del Oria ($56 \mu\text{g l}^{-1}$).

Por tanto, desde mediados de la década de 2010 los picos de clorofila se han medido casi siempre en primavera. Dichos picos han tenido lugar en aguas oligohalinas o mesohalinas, siguiendo el patrón típico de los estuarios, pero la mayoría fuera de la época de verano, que en años previos solía ser la más habitual para las floraciones fitoplanctónicas. Por ejemplo, en julio de 2009 y julio de 2010 se midieron los picos más elevados del Oiartzun ($25\text{--}30 \mu\text{g l}^{-1}$, en aguas polihalinas) y en agosto de 2003 el máximo histórico del Oria ($159 \mu\text{g l}^{-1}$, en aguas oligohalinas).

En general, parece estar ocurriendo un adelanto de la época del año en la que se registran los picos de clorofila en el tramo oligohalino o en aguas de carácter muy similar. Podría haber una tendencia de aumento en primavera de las tasas de crecimiento del fitoplancton o de los procesos de acumulación de las células en los estuarios. Por ejemplo, si tomamos como referencia un nivel mínimo de $50 \mu\text{g l}^{-1}$ para identificar los picos de clorofila en estuarios que presenten zonas con un alto contenido de agua dulce, en el Deba no se habían registrado picos hasta 2014 y todos los observados desde entonces han tenido lugar en primavera. En el Urola, concentraciones de ese orden solo se han medido en mayo a lo largo de la serie histórica, pero las dos últimas (2016 y 2021) han sido mucho más intensas que las previas (2003 y 2010). En el estuario del Oria, concentraciones que alcanzaban o superaban $50 \mu\text{g l}^{-1}$ han pasado de registrarse en agosto (2003 y 2007) a medirse en abril (2010 y 2021), aunque también en otoño (2022). En el Urumea, aunque se han medido picos en diferentes épocas del año (octubre, junio y julio), el máximo histórico es el de junio de 2016. En el estuario del Bidasoa el pico más reciente se ha registrado en junio de 2015, y los previos en julio (2014) y agosto (2002).

Las tendencias hacia una mayor frecuencia, o intensidad, de los picos de clorofila en primavera podrían ser consecuencia de factores de tipo climático (quizá, por ejemplo, si ha disminuido la nubosidad, o ha aumentado el tiempo de residencia del agua debido a una mayor duración de los periodos sin precipitaciones). En el apartado 3.4 se analizan las variables meteorológicas e hidrográficas en una de las cuencas, la del Urola, y puede verse que, en términos generales, coinciden los picos más fuertes de clorofila con los valores más bajos de precipitación y caudal.

En comparación con el resto de los estuarios de Gipuzkoa, el del Oiartzun tiene carácter poli- y euhalino (es decir, la influencia del río es generalmente menor) y soporta mayor presión antrópica. Además, es de tipo submareal, lo que implica tasas de renovación del agua relativamente lentas. Por ello, es posible que no se vea influido por las variables meteorológicas de una manera similar a la de los demás estuarios. Además, para identificar sus picos de clorofila, sería necesario aplicar un umbral menor (unos $12 \mu\text{g l}^{-1}$). Si tenemos en cuenta ese umbral, la mayoría de los picos de clorofila de la serie temporal del estuario del Oiartzun se han dado en verano (16 de los 20 picos registrados hasta ahora), siendo el mes de julio el que presenta mayor frecuencia. El resto se han dado en primavera, concretamente, dos en la dársena de La Herrera (junio de 2003 y mayo de 2015) y otros dos en la zona superior (mayo de 2021 y junio de 2022). Por lo tanto, en este estuario, hasta ahora es menos evidente que se esté produciendo un incremento de los picos de clorofila en la época de primavera, al menos en la zona más cercana al mar. Aunque, llama la atención que el 40% de los picos de la serie temporal del Oiartzun, que abarca ahora 23 años, se hayan dado en los dos últimos años y se hayan distribuido por diversos meses (mayo, junio, julio y septiembre), como puede verse en los ANEXOS de este informe y en los del año anterior.

3.2 Contenido de oxígeno disuelto en los estuarios de Gipuzkoa

3.2.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal

En la **Figura 15**, **Figura 16**, **Figura 17** y **Figura 18** se muestra la longitud de las series de datos y se representan varios estadísticos referentes a la concentración de oxígeno medida en cada estación de muestreo (percentiles, media aritmética y valores extremos). El análisis se ha realizado para cada época del año, con el fin de apreciar la variabilidad estacional. Los muestreos efectuados en enero, febrero o marzo se han considerado representativos de invierno; los de abril, mayo, junio, de primavera; los de julio, agosto y septiembre, de verano; y los de octubre, noviembre y diciembre, de otoño.

La mayoría de las estaciones comienzan a medirse a finales de los 80 o comienzos de los 90, aunque algunas de las más marinas comenzaron en 2001. En todos los estuarios se han observado valores $\geq 14 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Éstos, a pesar de ser muy elevados, se han considerado en los análisis ya que pueden

corresponder a situaciones de alta actividad fotosintética o de fuerte turbulencia debido a riadas. Los valores máximos, en torno a 17–21 mg·l⁻¹, se han dado en la zona superior del Urola (URO52800S, Puente Saburutx) y en la Regata Narrondo (**Figura 16**), así como en el entorno fluvial del estuario del Oiartzun (OIA13000S, Puente de Lezo) y en la Regata Molinao (**Figura 18 A**). Los picos de oxígeno se encuentran generalmente en las zonas superiores de los estuarios y en las regatas, esto es, en las estaciones de carácter más fluvial. En las zonas inferiores de los estuarios, las más cercanas al mar, no se han observado valores por encima de 14 mg·l⁻¹.

En cuanto a los mínimos de la serie histórica, se observan diferencias muy notables entre los distintos estuarios y entre estaciones dentro del mismo estuario. En el Oiartzun se han llegado a registrar valores mínimos indicadores de anoxia (<0,3 mg·l⁻¹) en todas las estaciones, salvo en OIA16700S, la situada en la desembocadura al mar (donde el mínimo histórico es 1,8 mg·l⁻¹) (**Figura 18 B**). Además, se han registrado valores cercanos a 1 mg·l⁻¹ en el Río Mijoa (**Figura 15 A**), en la Regata Añorga (**Figura 17 A**) y en el estuario del Urumea (**Figura 17 C**). Por el contrario, valores inferiores a 2 mg·l⁻¹ han sido muy poco frecuentes en el estuario del Urola (**Figura 16 B**) y no se han encontrado en el estuario del Oria (**Figura 17 B**), ni en el del Bidasoa (**Figura 18 C**), aunque en este último no se dispone de datos de la época de finales de los 80.

Hay que señalar que en las zonas fluviales se originan picos de oxígeno ocasionados por turbulencia en épocas lluviosas. Esto explicaría muchos de los máximos medidos en invierno en la cabecera de los estuarios, por ejemplo, en el del Oria (**Figura 17 B**). Por otro lado, en los estuarios que reciben vertidos ricos en materia orgánica, se producen fuertes descensos del oxígeno cuando las condiciones de temperatura y tiempo de residencia del agua son propicias para los procesos de oxidación bacteriana (Franco et al., 1998; Borja et al., 2000). Todo ello hace que los estuarios puedan presentar grandes oscilaciones en el oxígeno disuelto, en comparación con el mar, donde se observa una mayor estabilidad y, generalmente, concentraciones mínimas y medias más altas. Esto puede dar lugar a diferencias espaciales dentro de los estuarios, como se aprecia en el del Oiartzun (**Figura 18 B**), donde la estación cercana a la bocana del puerto, OIA16700S, presenta mejores condiciones de oxigenación que el resto de los puntos de medida.

En cuanto a la variabilidad anual, en anteriores informes ya se ha señalado que en la mayoría de los estuarios generalmente el oxígeno alcanza valores más altos en invierno, mínimos en verano y concentraciones intermedias en primavera y otoño. Esto se aprecia bien en los valores de la media aritmética y la mediana (percentil 50) de la mayoría de las estaciones de muestreo (por ejemplo, **Figura 15**). Sin embargo, en el Oiartzun (considerando los datos desde 1989) el ciclo estacional resulta menos evidente que en los otros estuarios (**Figura 18 B**).

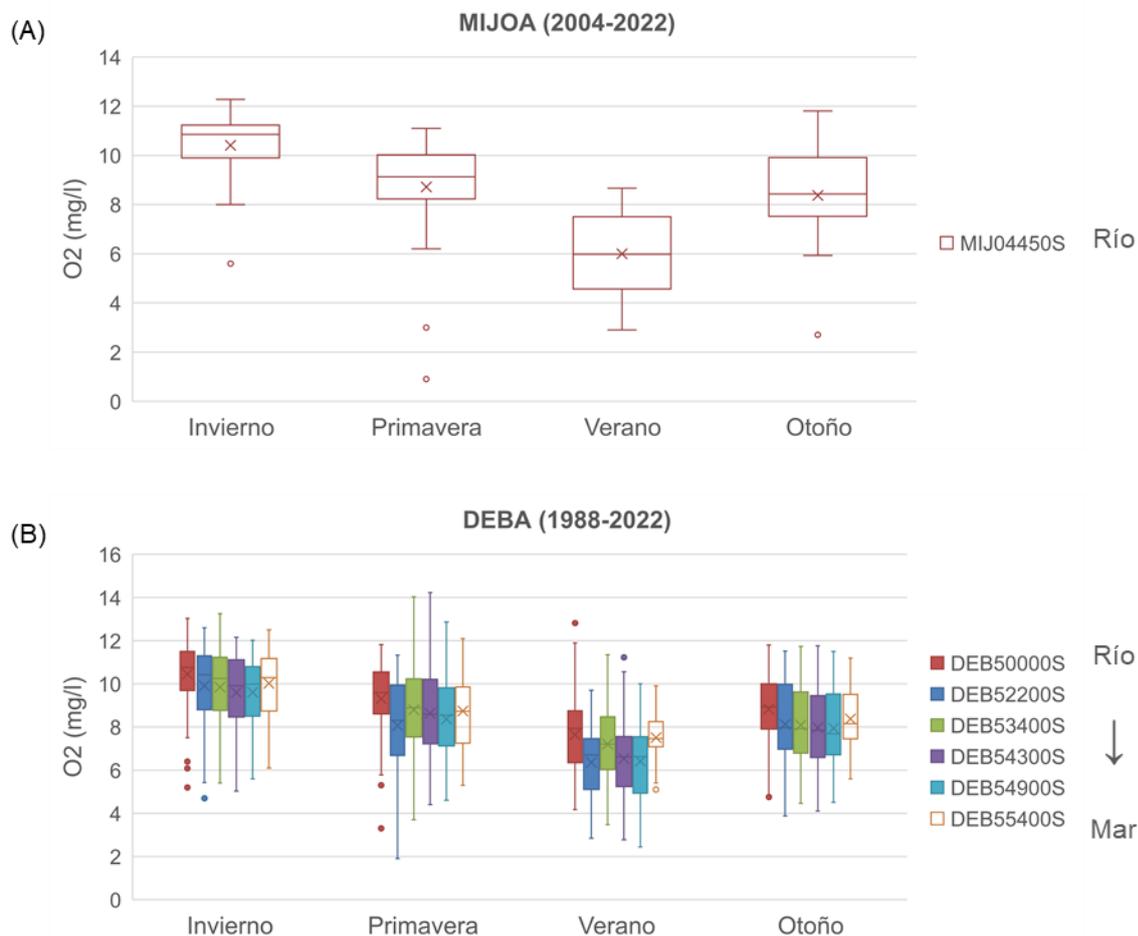


Figura 15. Estadísticos relativos al oxígeno disuelto (O₂) en las estaciones situadas en: (A) Río Mijoa; (B) Estuario del Deba. Símbolos: círculos (*outliers*); cruz (media aritmética); caja (percentiles 25, 50 y 75); bigote superior (valor máximo excluyendo *outliers*), bigote inferior (valor mínimo excluyendo *outliers*). Las estaciones en las que la serie de medidas comenzó más recientemente, en la década del 2000, se muestran con cajas vacías. DEB55400S comenzó a medirse en 2001.

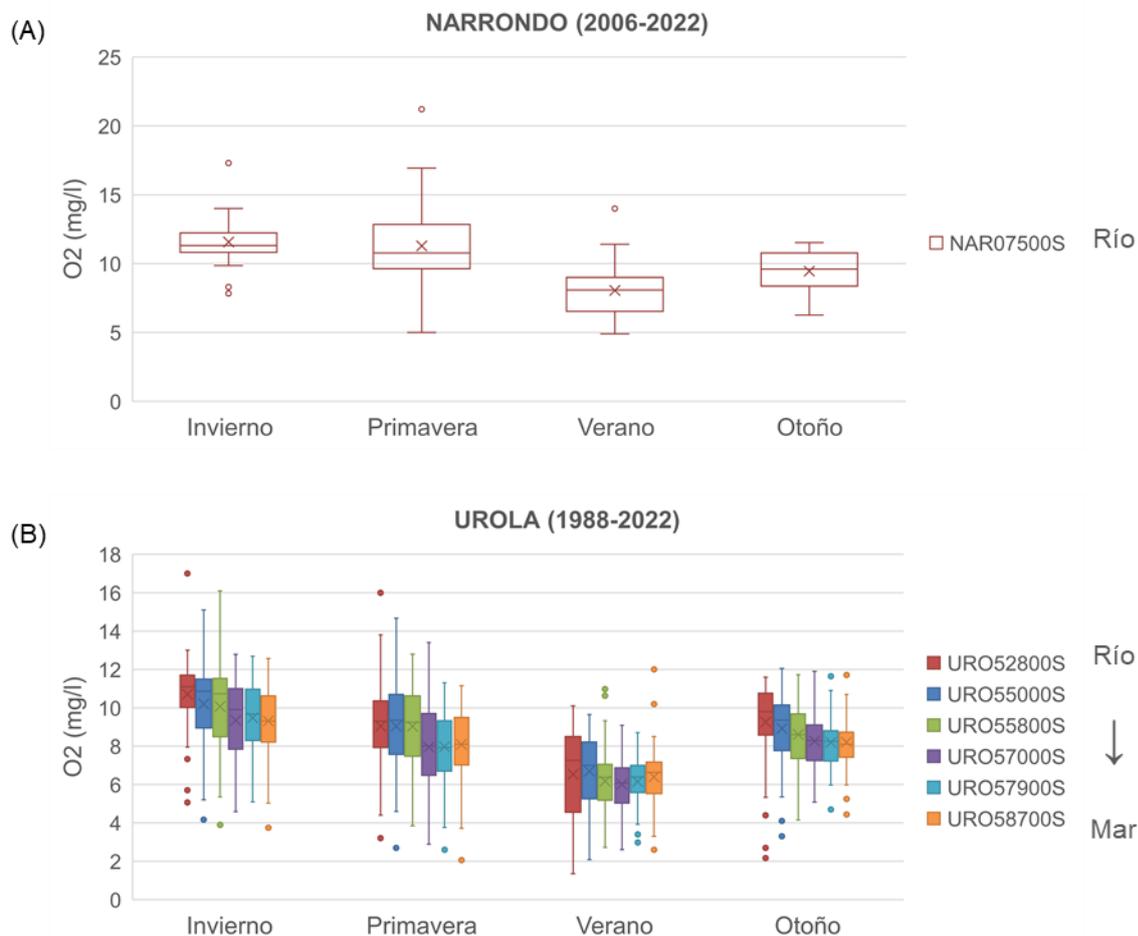


Figura 16. Estadísticos relativos al oxígeno disuelto (O₂) en las estaciones situadas en: (A) Regata Narrondo; (B) Estuario del Urola. Símbolos: círculos (*outliers*); cruz (media aritmética); caja (percentiles 25, 50 y 75); bigote superior (valor máximo excluyendo *outliers*), bigote inferior (valor mínimo excluyendo *outliers*). Las estaciones en las que la serie de medidas comenzó más recientemente, en la década del 2000, se muestran con cajas vacías.

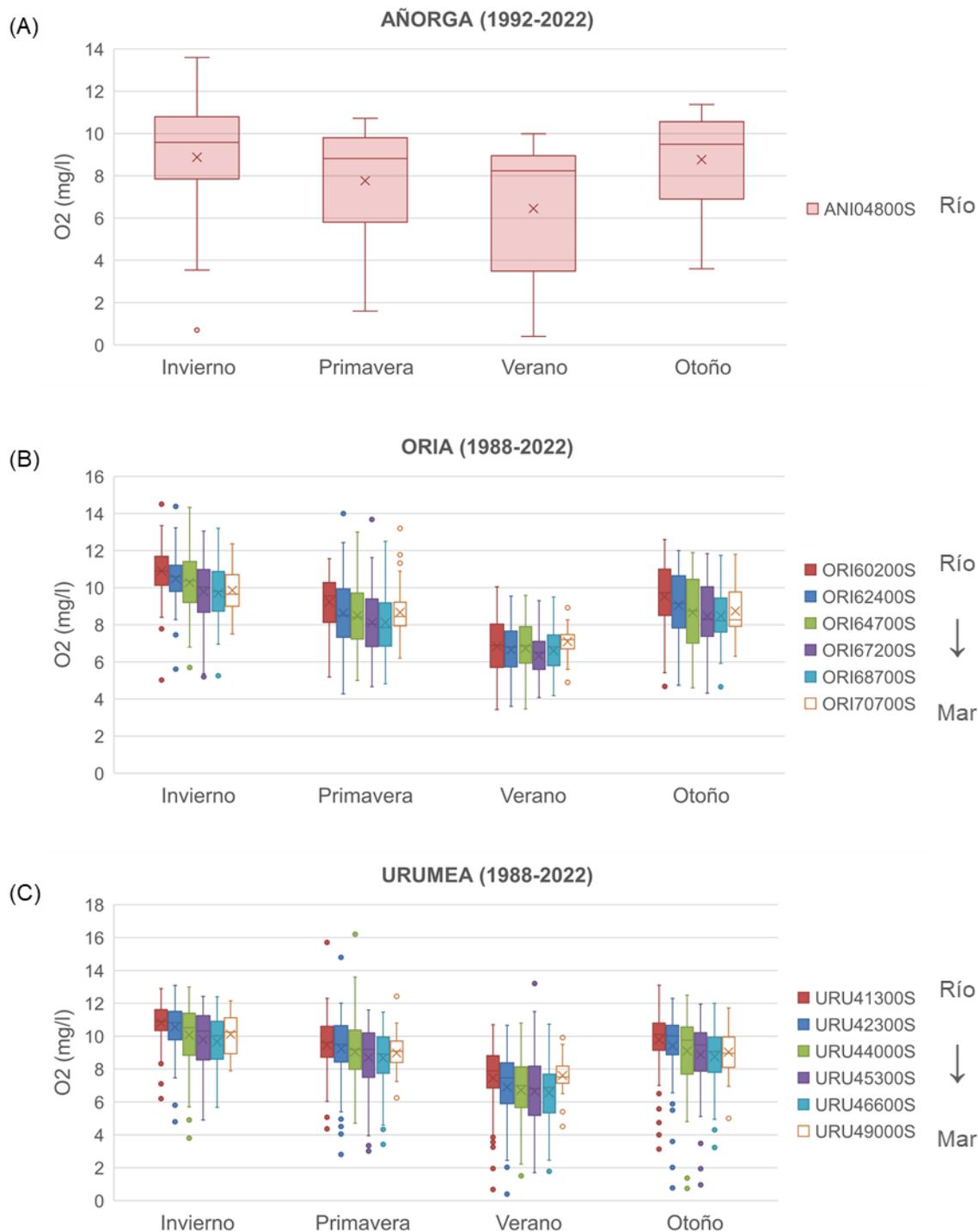


Figura 17. Estadísticos relativos al oxígeno disuelto (O₂) en las estaciones situadas en: (A) Regata Añorga; (B) Estuario del Oría; (C) Estuario del Urumea. Símbolos: círculos (*outliers*); cruz (media aritmética); caja (percentiles 25, 50 y 75); bigote superior (valor máximo excluyendo *outliers*), bigote inferior (valor mínimo excluyendo *outliers*). Las estaciones en las que la serie de medidas comenzó más recientemente, en la década del 2000, se muestran con cajas vacías. ORI70700S y URU49000S comenzaron a medirse en 2001.

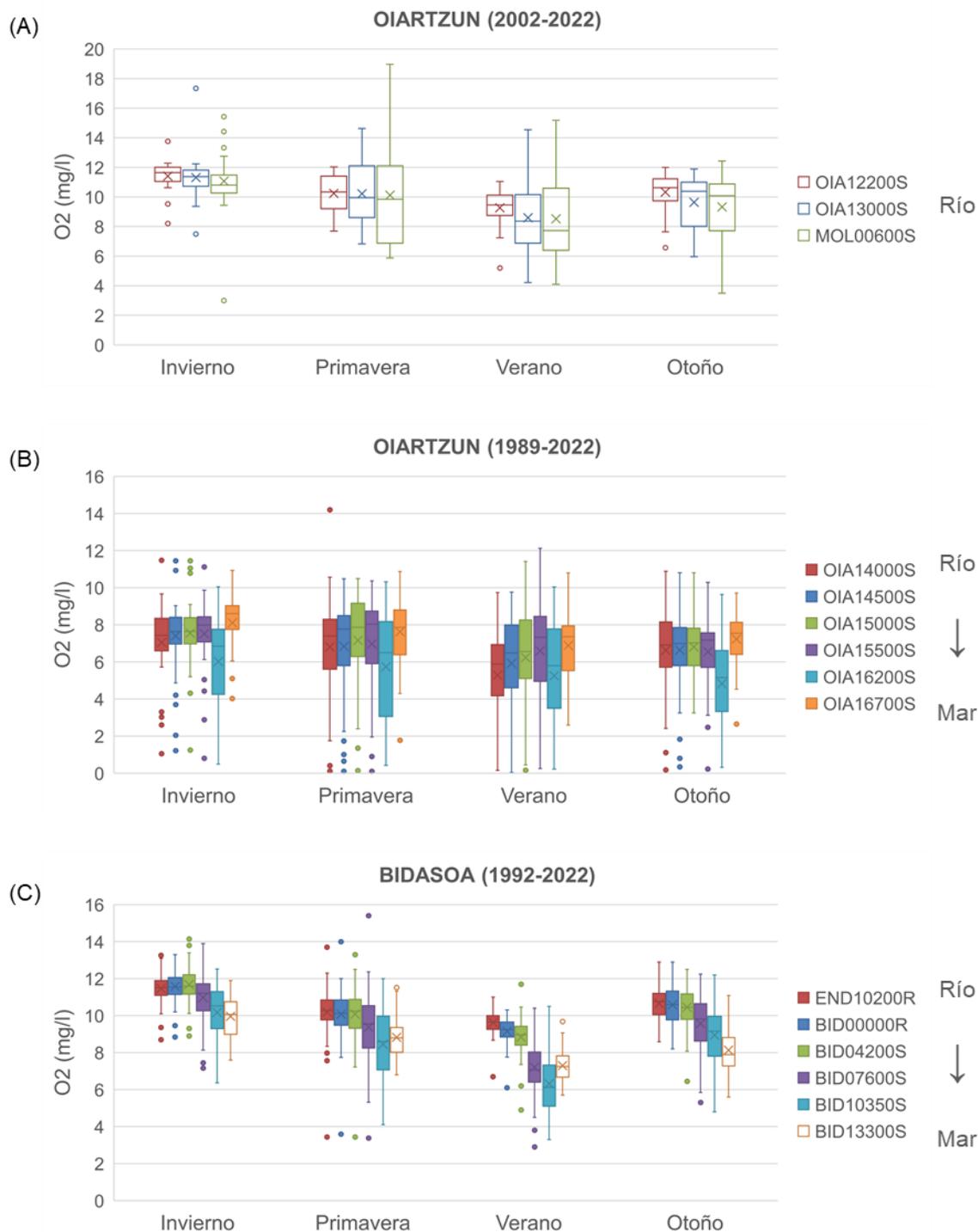


Figura 18. Estadísticos relativos al oxígeno disuelto (O₂) en las estaciones situadas en: (A) Entorno fluvial del estuario del Oiartzun y Regata Molinao; (B) Estuario del Oiartzun (Puerto de Pasaia); (C) Estuario del Bidasoa. Símbolos: círculos (*outliers*); cruz (media aritmética); caja (percentiles 25, 50 y 75); bigote superior (valor máximo excluyendo *outliers*), bigote inferior (valor mínimo excluyendo *outliers*). Las estaciones en las que la serie de medidas comenzó más recientemente, en la década del 2000, se muestran con cajas vacías. BID13300S comenzó a medirse en 2001.

3.2.2 Tendencias a largo plazo del oxígeno en cada estuario

Oxígeno en el Río Mijoa

En la estación MIJ04450S se dispone de datos de oxígeno desde 2004. Como puede verse en la **Figura 19**, la tendencia global ha sido de incremento. No obstante, a partir de 2017, aproximadamente, se percibe una estabilización en los valores máximos y un descenso en los valores mínimos).

El valor más bajo ($0,9 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) se detectó en abril de 2004. En los años siguientes no volvieron a observarse casos de hipoxia ($<2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) y, además, los mínimos fueron cada vez menos acusados, hasta llegar a situarse en torno a $6-7 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ a mediados de la década de 2010. Sin embargo, en los últimos años se han registrado de nuevo mínimos de $4-5 \text{ mg l}^{-1}$ en verano.

Los valores máximos, en general, presentan una tendencia de aumento al comienzo de la serie y una estabilización posterior. El máximo absoluto ($12,3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) se midió en febrero de 2018. El máximo de 2022 ha sido $11,8 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ y también se ha medido en invierno.

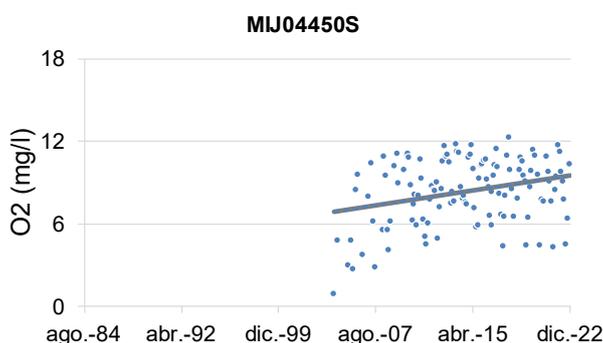


Figura 19. Concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo de los días en la estación MIJ04450S (Río Mijoa). Se representan los valores medidos en toda la serie (desde 2004), así como, su línea de tendencia (ajuste lineal por mínimos cuadrados).

Oxígeno en el estuario del Deba

En la **Figura 20** se muestra la concentración de oxígeno frente al tiempo para cada una de las estaciones del estuario del Deba. En todas ellas se aprecia una evolución positiva. A finales de la década de 2000 se observa un brusco incremento en los valores mínimos.

En 2022 los mínimos no han sido acusados ($6-7 \text{ mg l}^{-1}$) y se han medido en verano y otoño (agosto y octubre). Los picos de oxígeno en el estuario han estado en este último año en torno a 13 mg l^{-1} y se han medido en marzo y abril, probablemente como consecuencia de altas tasas de crecimiento del fitoplancton.

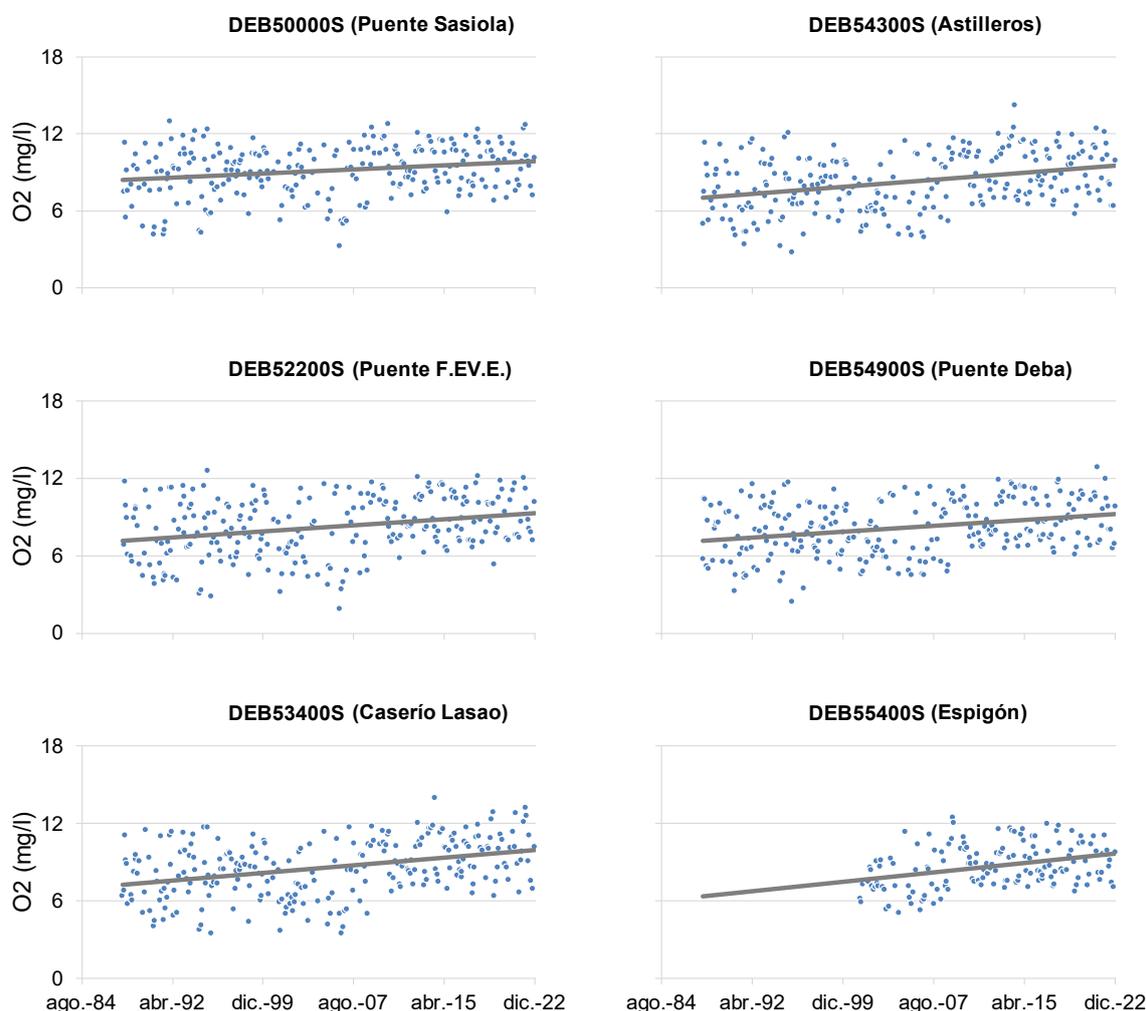


Figura 20. Concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo de los días en las estaciones del estuario del Deba. Se representan los valores medidos en toda la serie (desde 1988 en todas las estaciones, excepto en DEB55400S que se mide desde 2001), así como su línea de tendencia (ajuste lineal por mínimos cuadrados).

Oxígeno en el estuario del Urola y en la Regata Narrondo

En la **Figura 21** puede observarse que, a largo plazo, la evolución del oxígeno disuelto en el estuario del Urola ha sido positiva. La mejoría es especialmente notable en la zona superior (URU52800S, Puente Saburutx) a finales de la década de 2000, cuando sus mínimos se desplazan desde niveles de 1–2 mg l⁻¹ hasta 4–5 mg l⁻¹. En esta zona se aprecia otro brusco incremento de los mínimos en 2017. En el resto del estuario la mejoría parece ser más progresiva y comenzar unos años antes.

Las condiciones de oxigenación en 2022 han sido muy similares a las de años recientes y se pueden considerar buenas, con valores medios anuales a lo largo del estuario entre 9 y 10 mg l⁻¹. Los mínimos en 2022 no descendieron por debajo de 5,8 mg l⁻¹, y se midieron en verano. Los máximos (~12 mg l⁻¹) se registraron en primavera en la zona superior del estuario.

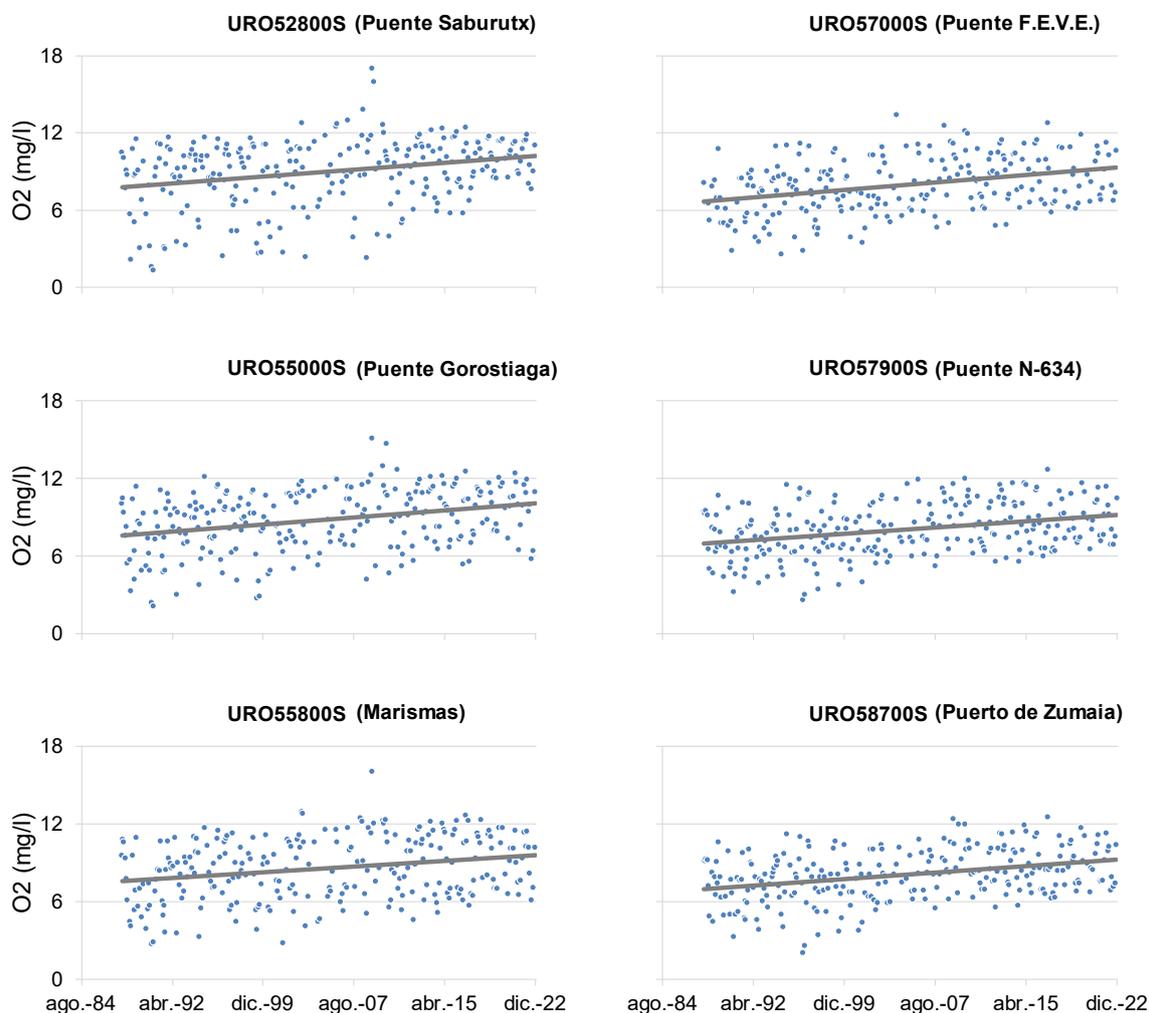


Figura 21. Concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo de los días en las estaciones del estuario del Urola. Se representan los valores medidos en toda la serie (desde 1988), así como su línea de tendencia (ajuste lineal por mínimos cuadrados).

En la estación de la regata Narrondo (NAR07500S), similar en salinidad a la zona superior del estuario del Urola (véase **Tabla 1**), se comenzó a medir el oxígeno en el año 2006. Destacan los picos, muy frecuentes al comienzo de la serie y que superan a los del resto de estaciones de muestreo (**Figura 22**). En abril de 2016 hubo un pico muy elevado, posiblemente causado por una floración fitoplanctónica (dato no mostrado). La tendencia de los máximos ha sido de descenso, estabilizándose recientemente en valores cercanos a 12 mg l⁻¹. En cuanto a los mínimos, no son muy acusados a lo largo de la serie. En 2022 la concentración mínima de oxígeno (5,1 mg l⁻¹) se ha medido en verano y se encuentra entre las más bajas de la serie.

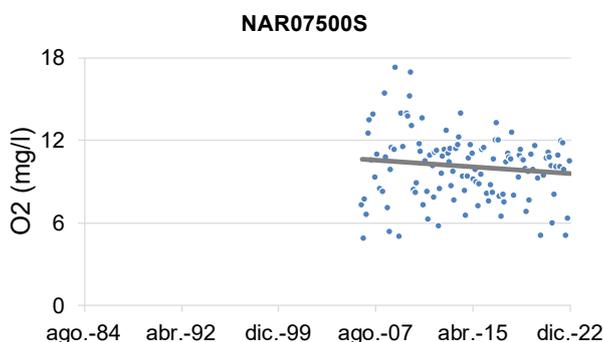


Figura 22. Concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo de los días en la Regata Narrondo. Se presentan los valores medidos en toda la serie (desde 2006), así como su línea de tendencia (ajuste lineal por mínimos cuadrados). No se muestra el máximo histórico de esta estación (21,2 mg·l⁻¹), que se midió en abril de 2016 (con 200% de saturación), aunque se ha utilizado en el análisis.

Oxígeno en la Regata Añorga

En cuanto a la Regata Añorga, a largo plazo, el oxígeno ha presentado una gran mejoría (**Figura 23**). Durante la década de los 90 y hasta mediados de la del 2000 se detectaban algunos valores entre 0 y 2 mg·l⁻¹. A partir del año 2007 no se observan datos de oxígeno inferiores a 3 mg·l⁻¹, y desde 2012 no se han observado valores por debajo de 7 mg·l⁻¹. En los máximos anuales se aprecia también una tendencia de aumento al comienzo de la serie, seguida por una estabilización en valores moderados. En 2022 la concentración máxima de oxígeno ha sido cercana a 11 mg l⁻¹ y se ha medido en invierno.

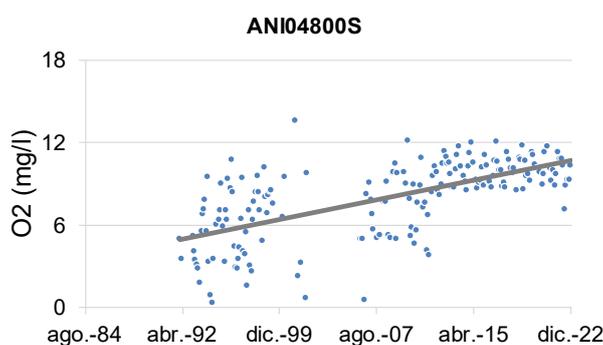


Figura 23. Concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo de los días en la estación de la Regata Añorga. Se representan los valores medidos en toda la serie (desde 1992), así como su línea de tendencia (ajuste lineal por mínimos cuadrados).

Oxígeno en el estuario del Oria

En el estuario del Oria se observan tendencias positivas en todas las estaciones de muestreo (**Figura 24**). Desde 2015, aproximadamente, las concentraciones se encuentran la mayoría de las veces entre 6 y 12 mg·l⁻¹. En 2022 el mínimo ha sido 6,4 mg·l⁻¹ y se ha medido en primavera (junio). Sin embargo, el máximo ha superado el de años recientes, con 13,7 mg·l⁻¹ en mayo.

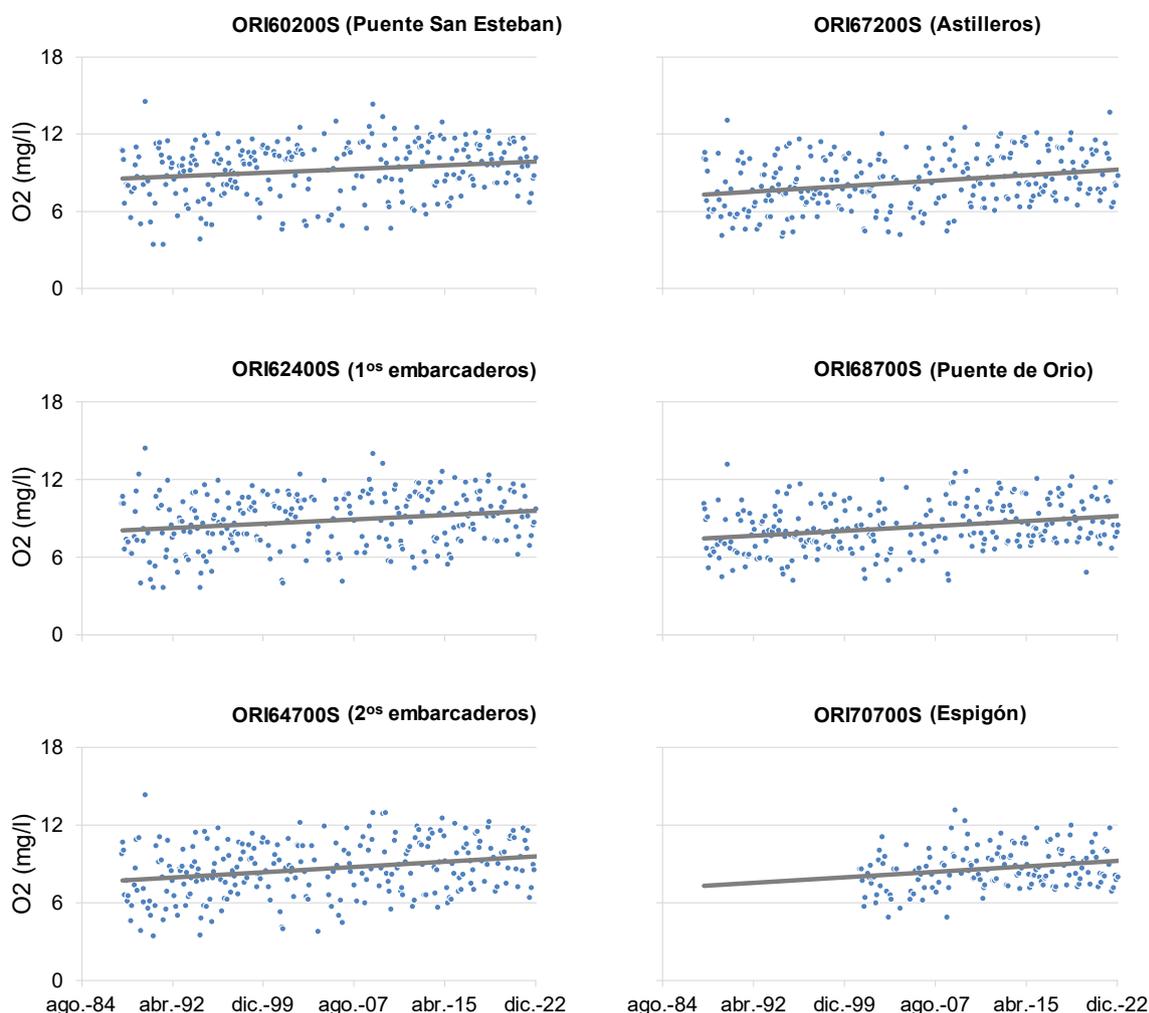


Figura 24. Concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo de los días en las estaciones del estuario del Oria. Se representan los valores medidos en toda la serie (desde 1988 en todas las estaciones, excepto en ORI70700S que se mide desde 2001), así como su línea de tendencia (ajuste lineal por mínimos cuadrados).

Oxígeno en el estuario del Urumea

En este estuario se ha observado a largo plazo un incremento notable de los valores mínimos. A finales de los 80 se registraron algunas concentraciones inferiores a 2 mg·l⁻¹ en verano y en otoño. Estas situaciones de hipoxia se podían observar en cualquiera de los puntos de muestreo, aunque eran más acusadas en la zona superior del estuario, hasta aproximadamente el Barrio de Txomin-Enea. En la década de los 90 las condiciones de oxigenación comenzaron a mejorar y a finales de la misma los valores mínimos estaban ya en torno a 4 mg·l⁻¹. Posteriormente, entre 2007 y 2021, a lo largo de todo el estuario, rara vez descendieron por debajo de 6 mg·l⁻¹. Ello se traduce en líneas de tendencia positivas en todos los puntos, aunque en la zona inferior (Puente del Kursaal) el cambio observado sea menor debido a que no se comenzó a medir hasta 2001 (**Figura 25**).

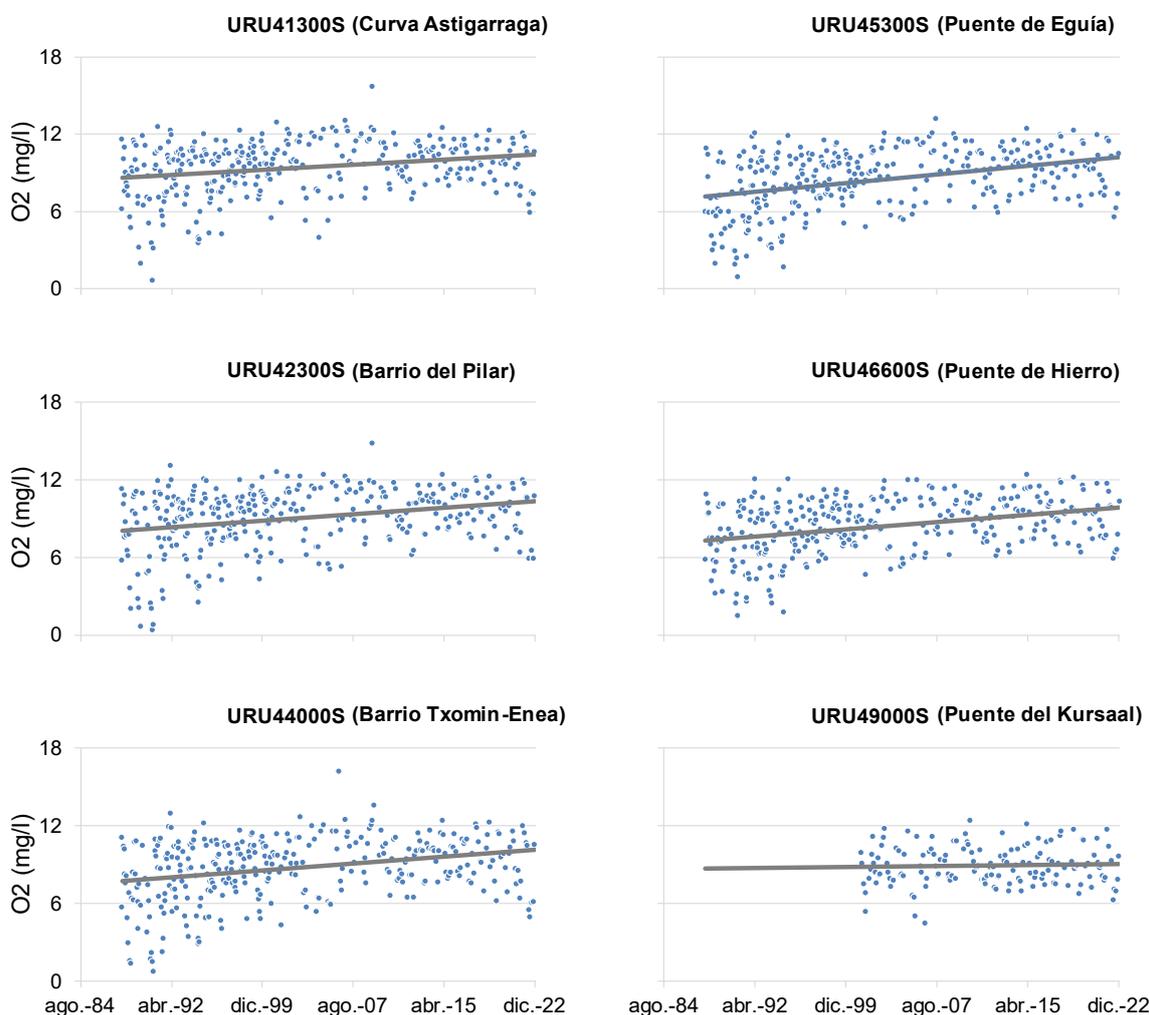


Figura 25. Concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo de los días en las estaciones del estuario del Urumea. Se representan los valores medidos en toda la serie (desde 1988 en todas las estaciones, excepto en URU49000S que se mide desde 2001), así como su línea de tendencia (ajuste lineal por mínimos cuadrados).

Sin embargo, en el año 2022 se han registrado mínimos más bajos de los que se venían observando por lo menos desde hace 10 años. Estos han abarcado todo el estuario en primavera (junio) o verano, siendo el más acusado el de $5,0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ medido en julio en la zona superior. Además, los valores promedio anual del estuario (datos no mostrados) han seguido una tendencia continua de descenso a lo largo de los últimos cinco años, partiendo de $9,9 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ en 2018 y acabando en $8,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ en 2022.

La variabilidad temporal de la concentración del oxígeno en el agua depende tanto de factores naturales (meteorológicos), como de factores antrópicos. Un factor importante es la descarga fluvial. Con lluvias fuertes las aguas difícilmente presentarán un déficit de oxígeno. Por el contrario, en condiciones de sequía hay una menor renovación del agua del estuario y, por ello, los procesos de consumo de oxígeno pueden causar descensos marcados. Esto último ocurre generalmente en

verano, cuando también las tasas biológicas dependientes de la temperatura (como la respiración, el crecimiento bacteriano, etc.) son más altas.

Las condiciones meteorológicas en el País Vasco entre finales de la década de los 80 y comienzos de los 90 se caracterizaron por una intensa sequía. Así, entre 1987 y 1991 la precipitación total en los meses de primavera-verano fue inferior a $370 \text{ l}\cdot\text{m}^{-2}$, mientras que a partir de 1992 y hasta 1998 fueron superiores a $400 \text{ l}\cdot\text{m}^{-2}$. Este factor explicaría, en parte, los acusados mínimos de oxígeno detectados en los primeros años de la serie para el estuario del Urumea (**Figura 25**).

Durante la primera mitad de la década del 2000 se dieron también condiciones de sequía estival y esto parece verse reflejado en la aparición de mínimos de oxígeno en torno a $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Sin embargo, coincidiendo con las elevadas precipitaciones en agosto de 2007, en ese año los mínimos estivales estuvieron entre los más altos de la serie, cercanos a $7 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

Como se explica en el capítulo 3.4, sobre variables meteorológicas e hidrográficas, en los últimos años están predominando las anomalías negativas de caudal (valores por debajo de la media de largo plazo) y ello parece que ocurre a una escala geográfica más amplia que la de Gipuzkoa. El estudio realizado con datos de la Gironde y del Urola indica que desde 2019 el caudal medio de los ríos ha sido más bajo de lo normal en invierno, primavera y verano. En el año 2022 las anomalías negativas se han prolongado además en los meses de otoño.

Por otra parte, como se menciona en informes precedentes, en la cuenca del Urumea se han realizado importantes actuaciones de saneamiento. En la primera mitad de la década de los 90 se desvió buena parte de los vertidos de las aguas residuales de la zona de Hernani y Martutene a un colector. Lógicamente, esto debió producir una disminución de los aportes de materia orgánica al sistema y, por tanto, de la demanda de oxígeno.

En conclusión, los cambios registrados en la concentración de oxígeno en las aguas del estuario del Urumea vienen determinados tanto por factores naturales (hidrometeorológicos), como antrópicos (actuaciones de saneamiento). En décadas precedentes hay que destacar el aumento observado de forma generalizada en el estuario para los valores medios y mínimos, debidos en gran medida al desvío de aguas residuales al colector del Urumea y a la puesta en marcha de la EDAR de Loiola (gestionada por la Mancomunidad del Añarbe). Sin embargo, en años recientes se aprecia cierto descenso en la concentración media anual y en los mínimos que podría estar relacionado con una prolongación e intensificación de las condiciones de estiaje.

Oxígeno en el estuario del Oiartzun

En la serie temporal, que abarca desde 1989, se evidencia una gran mejoría en las condiciones de oxigenación de las aguas de superficie a lo largo de todo el estuario (**Figura 26**).

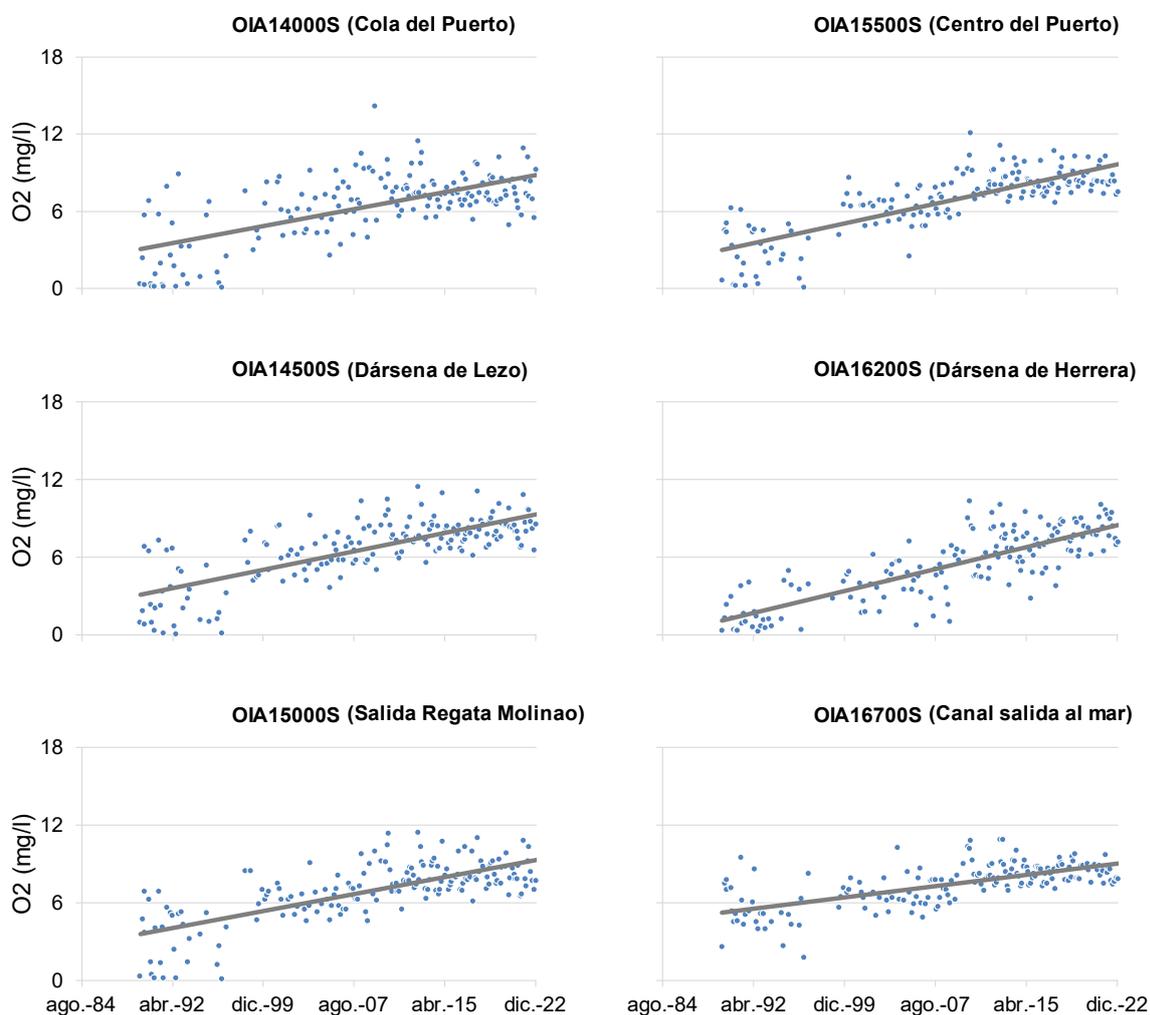


Figura 26. Concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo de los días en las estaciones del estuario del Oiartzun. Se representan los valores medidos en toda la serie (desde 1989), así como su línea de tendencia (ajuste lineal por mínimos cuadrados).

Hay una diferencia notable entre antes y después del desvío de los vertidos a cala Murgita en verano de 1996. Antes de esa fecha se registraron los valores más bajos de concentración de oxígeno disuelto (cerca de $0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Después del desvío de los vertidos a la costa, salvo en la dársena de La Herrera, ya no se volvieron a medir valores indicadores de hipoxia ($< 2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Desde entonces, a lo largo de unos 10-15 años la concentración media anual siguió una tendencia creciente en todo el estuario.

Desde finales de la década del 2000 las condiciones de oxigenación se mantienen bastante estables y la mayor parte de los datos de superficie están comprendidos entre 6 y $12 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (**Figura 26**). Como excepción hay que indicar que en la dársena de La Herrera (OIA16200S) se han dado descensos

acusados de manera recurrente en verano hasta años recientes. Por ejemplo, en agosto de 2015 se midieron 2,8 mg·l⁻¹.

En el año 2022 el oxígeno en el estuario del Oiartzun se ha mantenido en valores muy similares a los que se observan desde hace aproximadamente 10 años, con un valor medio de 8,2 mg·l⁻¹ en este último año. Como ya se ha visto en años anteriores, también en 2022 los valores mínimos han presentado un gradiente espacial, de ligero aumento, entre la zona interior del puerto (OIA14000S) con 5—6 mg·l⁻¹, y la zona más cercana al mar (OIA16700S) con 7—8 mg·l⁻¹. Los valores más bajos en 2022 se han medido en noviembre en todo el estuario, salvo en la estación más marina cuyo mínimo se ha registrado en julio.

Respecto a la Regata Molinao después de un aumento en los valores medios y mínimos entre los años 2002 y 2011, las concentraciones se han mantenido sin muchos cambios. Los fuertes picos que se han registrado desde 2011, cercanos o superiores a 14 mg·l⁻¹, reflejan altas tasas de fotosíntesis. La distribución de los datos es bastante similar en las otras dos estaciones cercanas al río Oiartzun, especialmente en la del Puente de Lezo (**Figura 27**). Cabe indicar que en los años 2021 y 2022 los mínimos se han hecho más marcados en la estación de la Regata Molinao y en la del Puente de Lezo (OIA13000S), aproximándose a los que se observaban en la década de 2000.

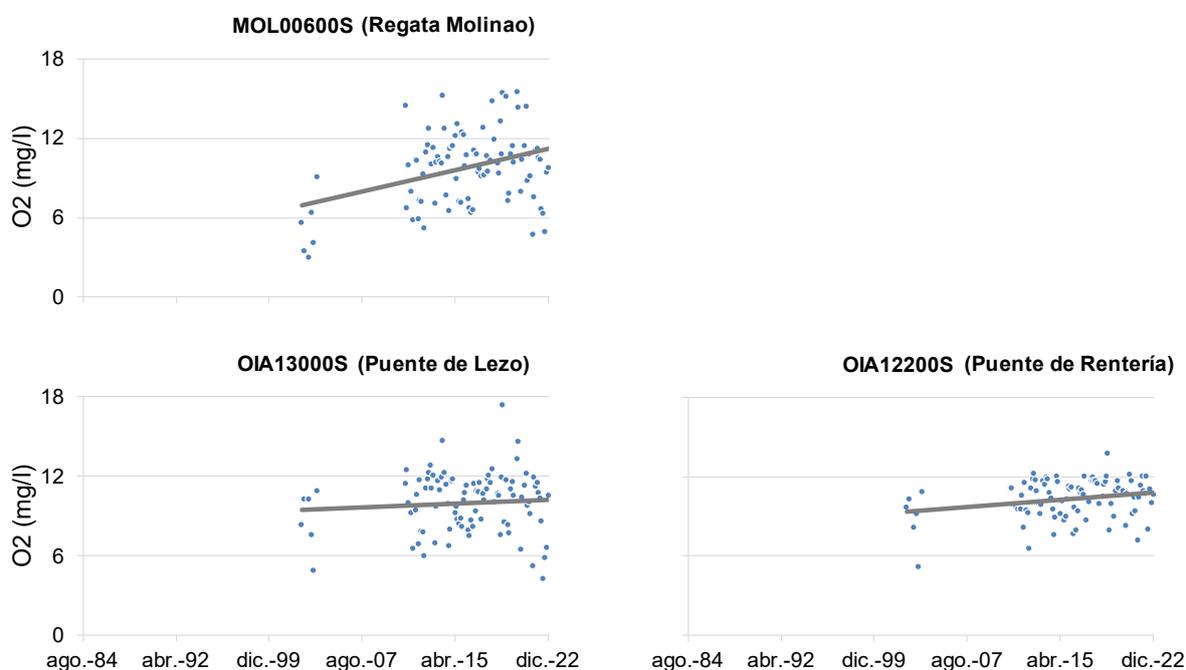


Figura 27. Concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo de los días en las estaciones del estuario del Oiartzun que se muestrean desde 2002. Se representan los valores medidos en toda la serie (no hay datos de estas estaciones entre los años 2004-2010), así como su línea de tendencia (ajuste lineal por mínimos cuadrados). No se muestra el máximo histórico de la estación MOL00600S (19,0 mg·l⁻¹), que se midió en mayo de 2019 (con 205% de saturación), aunque se ha utilizado en el análisis.

Oxígeno en el estuario del Bidasoa

En este estuario las líneas de ajuste de los datos respecto al tiempo no muestran cambios acusados (**Figura 28**). Sin embargo, en la mayoría de las estaciones se observa un aumento de los valores mínimos, que se situaban en torno a 4 mg·l⁻¹ al comienzo de la serie. Este cambio tiene lugar a finales de los años 90 en la zona fluvial (Regata Endara y Endarlaza) y en la zona superior del estuario (BID04200S, Alunda), donde desde entonces están por encima de 6 mg·l⁻¹.

También, aunque a más largo plazo, puede detectarse un aumento de los valores mínimos en la zona media del estuario: BID10350S (Puente de Santiago, Irún) y BID07600S (Puente de Behobia).

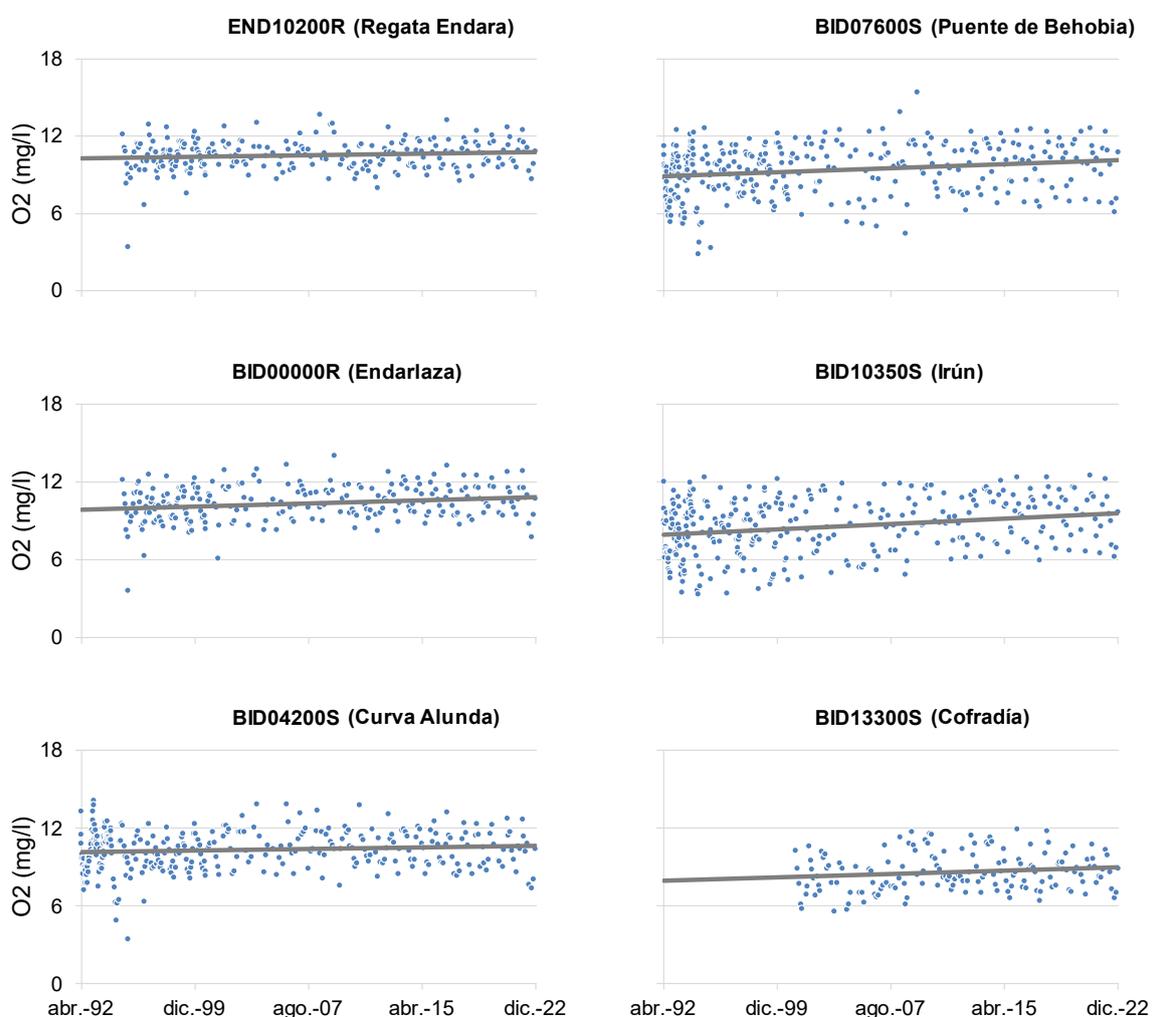


Figura 28. Concentraciones de oxígeno disuelto a lo largo de los días en las estaciones del estuario del Bidasoa. Se representan los valores medidos en toda la serie (desde 1992 en todas las estaciones, excepto en BID13300S que se mide desde 2001), así como su línea de tendencia (ajuste lineal por mínimos cuadrados).

En el año 2022 las condiciones de oxigenación siguen siendo buenas en el estuario del Bidasoa, con un valor medio de $9,1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ considerando todas las medidas realizadas (sin contar las estaciones fluviales, esto es, Regata Endara y Endarlaza). Los mínimos se han observado en verano y han sido algo mayores en las dos estaciones fluviales ($8\text{--}9 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$), que en el estuario ($6\text{--}7 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Los máximos se han medido en invierno y han sido moderados, alcanzando valores cercanos a $13 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ en las estaciones fluviales.

Resumen de las tendencias observadas en el oxígeno

Las series temporales de más de tres décadas han permitido detectar una mejoría generalizada en las condiciones de oxigenación de los estuarios. Esto, en muchos casos, puede relacionarse con las actuaciones de saneamiento realizadas.

En el Río Mijoa se produjo un aumento general de los valores a lo largo de la década de 2000. Aunque a partir de 2017 los valores mínimos parecen acusar cierto descenso, en este río las concentraciones se siguen manteniendo por encima de $4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

En el estuario del Deba los mínimos son mucho menos acentuados desde finales de la década del 2000, a pesar de que ocasionalmente se observe cierto descenso en los meses de verano y otoño. Estas disminuciones estacionales en la concentración de oxígeno son naturales y, además, en ningún caso se observan ya concentraciones inferiores a $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

En el estuario del Urola también han mejorado las condiciones de oxigenación. En los años 80 y 90 la zona superior del estuario era la que presentaba mínimos más acusados, incluso por debajo de $2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. La mejoría desde entonces ha sido muy notable a lo largo de todo el estuario y en los últimos años los mínimos no descienden de $5\text{--}6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

En la Regata Añorga, donde llegaron a observarse situaciones de hipoxia incluso en la década del 2000, desde el año 2012 los valores mínimos no han descendido de $7 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

En el estuario del Oria, aunque no se han observado fuertes déficits de oxígeno en la serie temporal estudiada, también se aprecia una tendencia de aumento a largo plazo.

En los estuarios del Urumea y del Bidasoa la concentración de oxígeno se mantiene más estable a lo largo del año, en comparación con las oscilaciones que presentaba a finales de los 80 y en los 90. Esto se debe, fundamentalmente, al aumento de los valores mínimos. En el Urumea dicho incremento ha sido muy importante y se relaciona en buena medida con el desvío de los vertidos de las aguas residuales urbanas. Sin embargo, en el Urumea en años recientes se aprecia cierto descenso en la concentración media anual y en los mínimos que podría estar relacionado con una prolongación e intensificación de las condiciones de estiaje.

Donde es más notable la mejoría es en el estuario del Oiartzun. Las situaciones de hipoxia no eran raras hasta mediados de los 90. Con las actuaciones de saneamiento se consigue que a finales de la década del 2000 los valores medios y mínimos de oxígeno en este estuario sean ya similares a los del resto. En la zona de la Dársena de La Herrera la recuperación del oxígeno ha sido más tardía.

Aunque, de forma general, los mínimos de oxígeno se observan en la época estival, también se han medido descensos en otoño coincidiendo con temperaturas relativamente altas y poco caudal. Desde 2014 parecen ser más frecuentes estos descensos del oxígeno durante los meses de octubre y/o noviembre. Por ejemplo, en el estuario del Oiartzun en 2022 los mínimos se han registrado en noviembre. En el estudio sobre variables meteorológicas e hidrológicas (apartado 3.4), se indica que el caudal de algunos ríos de esta zona en otoño de 2022 estuvo por debajo de lo normal.

En conclusión, la tendencia general y a largo plazo del oxígeno es de mejoría, coherente con las acciones de saneamiento que se han ido implementando. Sin embargo, en años muy recientes parecen percibirse cambios que podrían resultar de una intensificación y prolongación del estiaje. Por una parte, en algunas zonas aparecen mínimos fuera de la época estival. Por otra, en 2022 se han encontrado mínimos que, aunque no muy acusados (en torno a 5–6 mg·l⁻¹), retroceden a niveles registrados unos 10–20 años antes. Estos parece que inciden sobre todo en sistemas sometidos a una fuerte influencia fluvial, como las regatas Narrondo y Molinao, un punto cercano al río Oiartzun (Lezo) y el estuario del Urumea.

3.3 Aportes de amonio y fosfato procedentes de los ríos

3.3.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal

En un informe anterior se analizó la variabilidad espacial y la tendencia a largo plazo de la concentración de amonio y fosfato, en la serie histórica completa de la base de datos de la Diputación de Gipuzkoa (Revilla et al., 2011b). En esta serie temporal las estaciones que presentan mayor número de datos son las más interiores. Esto es debido a que los métodos analíticos empleados para la determinación de las concentraciones de nutrientes disueltos están diseñados para agua fluvial o de baja salinidad. En el presente informe se van a comparar las concentraciones registradas en el último año (2022) con la media histórica. Para ello, previamente se va a exponer una síntesis de los patrones generales de variabilidad.

El amonio y el fosfato en concentraciones moderadas son un componente natural de las aguas fluviales y estuáricas. Sin embargo, en los casos en los que existen vertidos de aguas domésticas el amonio manifiesta concentraciones muy elevadas y es el componente nitrogenado dominante. De la misma forma, el fosfato en alta concentración también es indicador de presión antrópica.

En los estuarios, en condiciones naturales, la mayoría de los aportes de nutrientes proceden del río, ya que el medio marino es relativamente más pobre (aunque hay excepciones en zonas con afloramiento costero). Por ello, se espera que las concentraciones varíen de manera inversamente proporcional a la salinidad. Sin embargo, en los estuarios de Gipuzkoa pueden ocurrir desviaciones respecto al patrón de dilución conservativo, debido a su pequeño tamaño. En estuarios pequeños, el caudal fluvial y los aportes antrópicos ejercen una gran influencia sobre la distribución de los máximos de amonio y fosfato. Por una parte, en zonas que reciben vertidos directos de aguas residuales urbanas, el contenido de amonio y fosfato desciende cuando el caudal del río es alto. Por otra, los aportes de aguas residuales en zonas con mucha influencia marina (por ejemplo, en el estuario del Oiartzun) pueden dar lugar a picos de concentración en aguas de salinidad relativamente alta.

El rango de variación del amonio para los seis estuarios de Gipuzkoa en conjunto y en la serie histórica completa es 0,3–2500 μM . En la mayor parte de las muestras los valores están por debajo de 100 μM . Sin embargo, hay casos en los que se han registrado concentraciones muy superiores, normalmente coincidiendo con aguas de salinidad muy baja. Los máximos se han medido en la Regata Molinao (estación MOL00600, de la cuenca del Oiartzun), del orden de 10^3 μM . En esta estación hay menos datos de amonio (sólo figuran entre 1989 y 2000, y posteriormente a partir de 2012), pero los registrados en la primera década de estudio superan los máximos históricos de los estuarios del País Vasco (**Tabla 4**, Metodología). Resaltar que, en los primeros años, a la regata llegaban sin depurar los lixiviados del vertedero de San Marcos.

De menor magnitud, pero también importantes, se han registrado picos de amonio en las estaciones situadas en la cabecera del Deba, DEB50000 y DEB51000 (hasta ~600 μM) y en la Regata Añorga (hasta ~900 μM). En el resto del Oiartzun, así como en el Río Mijoa, en el Urola, Oria y Urumea, los picos de amonio en la mayoría de los casos no han superado 200 μM . El Bidasoa es el estuario que mantiene las concentraciones más bajas de amonio, generalmente inferiores a 50 μM .

En cuanto al fosfato, el rango de variación para los seis estuarios de Gipuzkoa y en la serie histórica completa es 0,1–55 μM . Se han medido máximos de entre 20 y 60 μM en el estuario del Deba, en la Regata Añorga, en el Urumea y en el Oiartzun. Dichos máximos son comparables a los máximos históricos de los estuarios del País Vasco (**Tabla 4**, Metodología). No obstante, la mayoría de las muestras no suelen superar 10 μM . Al igual que con el amonio, las concentraciones más bajas de fosfato corresponden al Bidasoa.

Resumiendo, la Regata Añorga, el estuario del Deba, el del Urumea y el del Oiartzun han sido los que mayores concentraciones de amonio y fosfato han registrado a lo largo de la serie histórica. De forma contraria, el estuario del Bidasoa presentó niveles de amonio y fosfato relativamente más bajos que el resto de los estuarios. No obstante, la serie de medidas de nutrientes en el Bidasoa se ha limitado a las aguas muy influidas por el río, con lo cual no se descarta que en zonas de mayor salinidad (tramo

medio e inferior del estuario), donde se sitúan los principales núcleos de población, se hayan podido producir vertidos.

3.3.2 Situación de los nutrientes indicadores de vertidos en 2022

Como puede verse en la **Tabla 9**, durante el último año los valores promedio de amonio y fosfato cumplieron el objetivo de calidad (estado *Muy bueno* o *Bueno*) en las zonas muestreadas de los seis estuarios principales de Gipuzkoa, así como en el río Mijoa y en las regatas Añorga e Igara.

Hay que recordar que la mayoría de las muestras se toman en la zona superior de los estuarios, siendo más representativas de los aportes que llegan por el río. De hecho, su salinidad no alcanza 1 PSU. Por esta razón, se han aplicado los objetivos de los tramos oligohalinos, tal y como figuran en la Metodología (**Tabla 6**, límite *Bueno/Moderado*).

Tabla 9. Parámetros estadísticos básicos relativos a la concentración de amonio (NH_4) y fosfato (PO_4) en el último año de estudio. Para los valores de la media aritmética: en azul, estado *Muy Bueno*; en verde, estado *Bueno*; en naranja, estado *Moderado* o peor. Los umbrales de clasificación empleados para los valores medios son los que figuran en la Tabla 6 para aguas oligohalinas (ver Metodología). Para los máximos: en rojo, valores cercanos o superiores a la referencia de mal estado para aguas oligohalinas según Bald (2005), modificado posteriormente (Bald, comunicación personal): 116,86 μM amonio y 11,69 μM fosfato.

Año	Estuario	NH_4 (μM)				PO_4 (μM)			
		Nº	Mín.	Máx.	Media	Nº	Mín.	Máx.	Media
2022	Deba	21	1,4	13,3	5,0	21	0,63	8,95	2,83
2022	Río Mijoa	8	8,3	121,7	35,5	8	0,74	6,32	2,28
2022	Urola	21	1,4	8,9	3,5	21	0,26	4,84	1,47
2022	Oria	13	1,4	12,8	6,5	13	0,74	2,84	1,89
2022	Regata Añorga	8	1,4	30,6	7,6	8	0,74	2,74	1,64
2022	Urumea	21	1,4	7,2	2,9	21	0,26	8,53	0,86
2022	Regata Igara	8	1,4	7,8	3,1	8	0,95	5,68	2,58
2022	Oiartzun	11	1,4	7,2	2,9	10	0,26	3,47	1,04
2022	Bidasoa	31	1,4	3,3	1,5	30	0,26	2,21	0,61

En 2022 el valor máximo de amonio se midió en el Mijoa (un pequeño río que desemboca en la playa de Saturraran), situación que se viene observando desde hace años en este río. Los picos de amonio en el Mijoa suelen ser muy elevados y casi todos los años se detecta alguno del mismo orden que el valor de la referencia de mal estado para este nutriente ($\sim 117 \mu\text{M}$). El máximo anual se registró el 23 de agosto, pero además hubo un pico secundario en este río el 5 de julio ($59 \mu\text{M}$). En ocasiones también se observan allí picos de fosfato que indican mal estado ($\sim 12 \mu\text{M}$). Sin embargo, en 2022 el fosfato presentó valores bajos o moderados en todas las muestras analizadas (**Tabla 9**).

En el último decenio se han detectado varios picos de fosfato indicadores de mal estado, aunque no de manera frecuente en un estuario concreto. Así, en 2013 y 2014 se observaron valores de 13–24

μM en la cabecera del estuario del Deba, en el estuario del Oria y en el Río Mijoa. En 2015, un pico de unos $13 \mu\text{M}$ en el estuario Urumea, en junio, que podría haberse debido a las obras efectuadas en el Barrio de Martutene para la defensa contra inundaciones. Más recientemente, valores en torno a $11\text{--}12 \mu\text{M}$ se han medido en 2017 en el estuario del Deba, en 2018 en el del Urola (Regata Narrondo), en 2019 en el Río Mijoa y en 2020 en el estuario del Oria (Puente de San Esteban).

Los picos de amonio y fosfato posiblemente reflejen la existencia de vertidos de aguas residuales, que afectan de manera esporádica a algunos estuarios de Gipuzkoa, y más frecuentemente al Río Mijoa. En todo caso, los máximos medidos son inferiores a los máximos históricos de los estuarios del País Vasco. Así, como puede verse en la **Tabla 4** del apartado de Metodología, entre 1994 y 2010 se llegaban a medir máximos de amonio de $600\text{--}800 \mu\text{M}$ y el fosfato alcanzaba hasta $42 \mu\text{M}$.

3.4 Variables meteorológicas e hidrográficas

A continuación, se describe el estudio realizado con datos de la cuenca del Urola y del estuario de la Gironde, así como con el índice climático NAO.

3.4.1 Anomalías del régimen fluvial y pluvial del Urola relativas al periodo 1997-2022

La evolución temporal de los datos de caudal y de precipitación en el Urola se muestra en la **Figura 29**. Ambas variables presentan una fuerte variabilidad temporal.

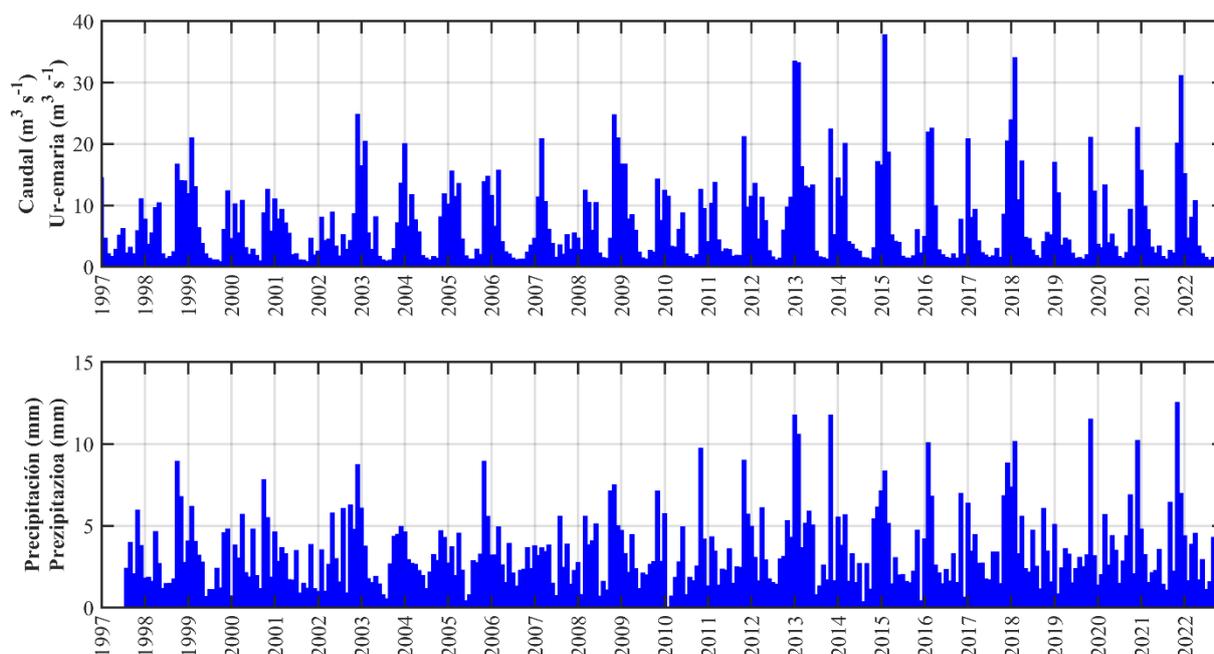


Figura 29. Evolución temporal de los datos de caudal y precipitación en la estación de aforo y de calidad de aguas de Aizarnazabal (Urola) durante el periodo 1997-2022.

En la **Figura 30** se muestra el diagrama Hövmoller de las anomalías mensuales normalizadas. A lo largo de estos 26 años se observan tanto anomalías positivas como negativas, que indican desviaciones por encima y por debajo del ciclo estacional promedio, respectivamente. Los años más anómalos han sido 2013, por presentar abundantes precipitaciones y elevado caudal durante todo el primer semestre, y 2022, por presentar caudales más bajos de lo habitual durante prácticamente todo el año.

Las anomalías del caudal tienen su origen en las anomalías pluviométricas. De hecho, los datos mensuales de caudal del Urola responden de forma lineal y simultánea a la precipitación registrada en esta misma estación. El coeficiente de correlación de Pearson entre las medias mensuales de ambas variables es de 0,77, altamente significativo. Las diferencias entre ambas variables probablemente estén asociadas a diferentes procesos físicos como la infiltración, interceptación de la lluvia, etc. (Trigo et al., 2004).

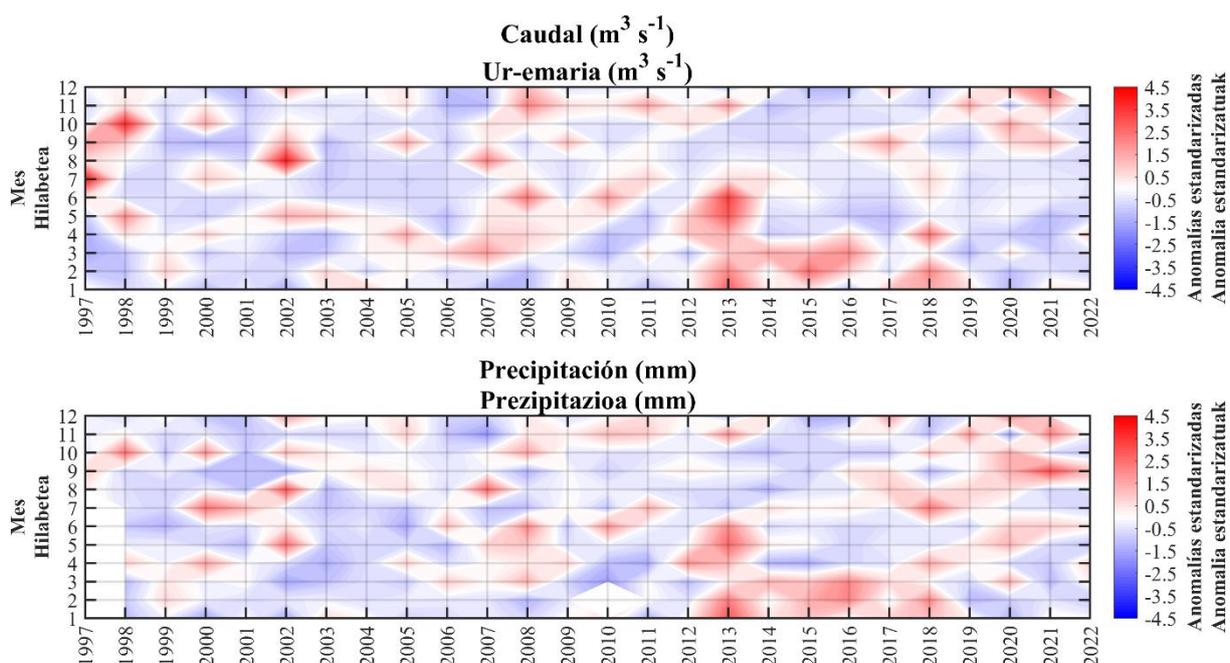


Figura 30. Diagrama Hövmoller de evolución temporal de las anomalías de caudal y de precipitación estandarizadas en la estación de aforo y de calidad de aguas de Aizarnazabal (Urola) durante el periodo 1997-2022.

La cuenca del río Urola se localiza en la zona central del territorio guipuzcoano y, con un área aproximada de 364 km², tiene un tamaño intermedio entre la más amplia, la del Oria (888 km²), y la más pequeña, la del Oiartzun (87 km²) (Valencia et al., 2004a). Aunque su estudio puede considerarse útil como una primera aproximación, el régimen de precipitación y caudal en otras cuencas de Gipuzkoa podría presentar algunas diferencias.

A continuación, la **Figura 31** se centra en los meses de abril a septiembre, los que se consideran óptimos para el crecimiento del fitoplancton en estos estuarios. En ella se puede diferenciar periodos de unos 7-9 años, con algunos matices o excepciones:

- Un primer periodo (1998 – 2006) donde predominan las anomalías negativas, exceptuando 2002. Destacan en éste 1999 y 2006, con anomalías negativas de caudal a lo largo de toda la primavera y el verano, y que habrían sido, por tanto, muy propicios para la acumulación de fitoplancton en la zona superior del estuario.
- Posteriormente, el periodo 2007 – 2013, donde las anomalías positivas son más recurrentes y, por tanto, señalan una mayor descarga fluvial. Hay que matizar que los meses de primavera de 2011 y los del verano de 2012 son relativamente secos.
- El último, 2014 – 2022, durante el cual predominan las anomalías negativas en el caudal (exceptuando 2018). Aunque, hay que matizar que en cuanto a precipitación no se observa un patrón tan claro.

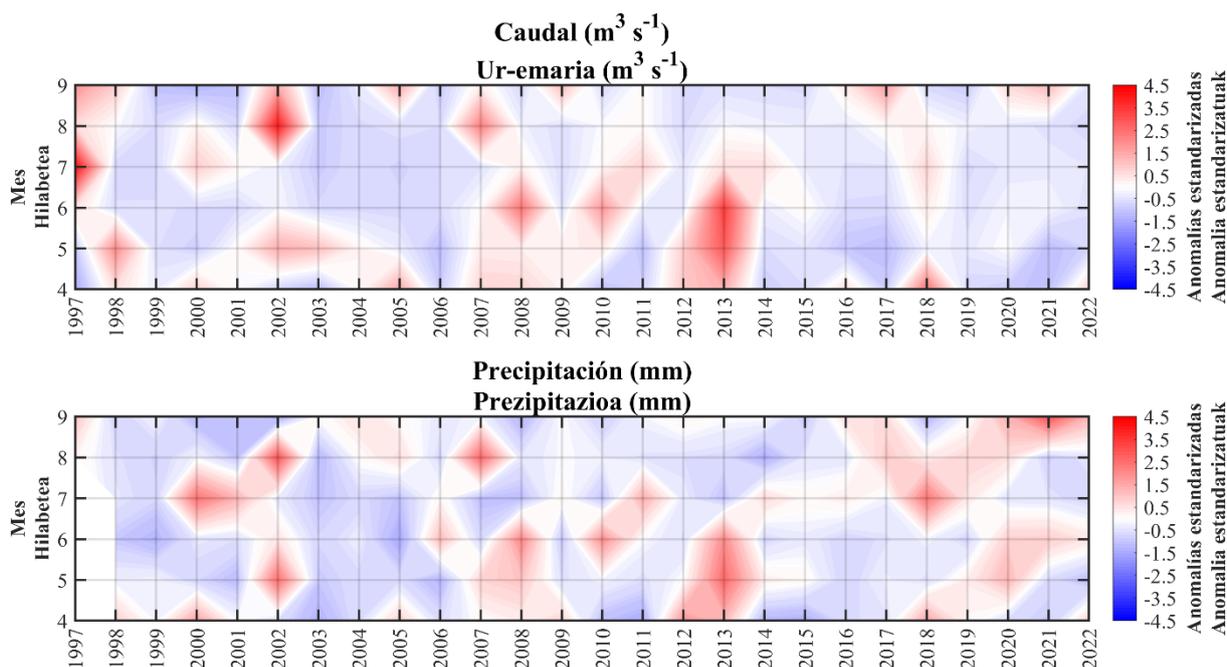


Figura 31. Extracto del anterior diagrama, para mostrar solo los meses de primavera y verano, en la cuenca del Urola.

3.4.2 Escala geográfica local y regional

A pesar de las diferencias asociadas al tamaño de las cuencas hidrográficas del Urola y del estuario de la Gironde y a las diferencias en el régimen fluvial (pluvial el Urola y pluvio-nival la Gironde), los caudales de ambas cuencas han evolucionado de forma similar, especialmente a partir de 2013 (**Figura 32**).

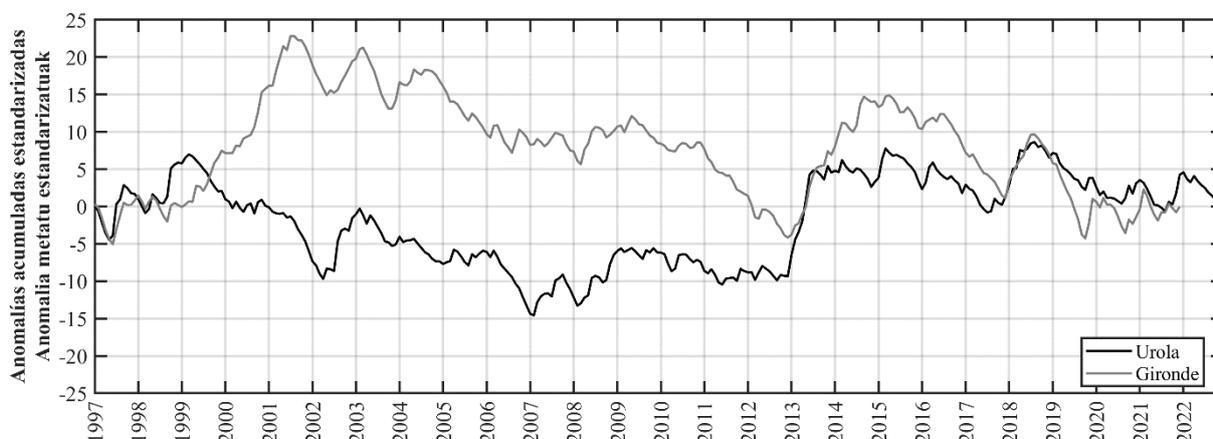


Figura 32. Anomalías acumuladas estandarizadas de los datos mensuales de caudal del Urola y de la Gironde durante el periodo 1997-2022.

En ambas cuencas, desde 2013 en adelante se observan patrones muy similares lo que indicaría que este cambio de patrón responde más a cambios del régimen climático a escala regional, o incluso del Atlántico Norte, que a cambios locales en la cuenca del Urola. Así, a partir de 2013 se produce un repunte del caudal hasta finales de 2015, a partir de donde el caudal es más bajo de lo habitual. En 2018 se produce otro repunte del caudal y un descenso posterior a partir de 2019 (**Figura 32**).

Cabe destacar que las tendencias pueden diferir según la estación del año considerada. Así, desde 2019 hasta 2022, el caudal ha sido más bajo de lo normal en invierno, primavera y verano. En otoño, el caudal ha sido más elevado entre 2019 y 2021 y, nuevamente, en 2022 ha estado por debajo de lo normal.

3.4.3 Teleconexiones climáticas

A continuación, se estudiarán las relaciones entre la variabilidad atmosférica en el Atlántico Norte y los caudales de ambos sistemas, el del Urola y el de la Gironde. Los regímenes fluvial y pluvial están caracterizados por presentar una gran variabilidad interanual. La NAO, el modo principal de variabilidad atmosférica en el Atlántico Norte, explica buena parte de la variabilidad pluvial y, por lo tanto, de la variabilidad fluvial en la Península Ibérica (Rodríguez-Puebla et al., 2001; Trigo et al., 2004). Sin embargo, en el norte de la Península Ibérica, la NAO no parece ser el principal factor que afecta la precipitación, especialmente en invierno (Sáenz et al., 2001; Chust et al., 2011). De hecho, Usabiaga et al. (2004) concluyeron que solo $\approx 21\%$ de la variabilidad total de la precipitación invernal en el norte de la Península Ibérica está gobernado por la NAO. En el caso que nos ocupa, la NAO invernal presenta una correlación débil y no significativa con los caudales invernales de ambas estaciones para el periodo 1997-2022.

En la **Figura 33** se muestran las anomalías acumuladas mensuales del caudal del Urola así como de la NAO. Dicha Figura muestra que, aunque con algunas salvedades a lo largo del registro, el caudal varía de forma opuesta a la NAO. Esto es debido a que la fase negativa de la NAO conlleva un clima más húmedo en el sur de Europa. Sin embargo, esto no se traduce en una correlación significativa considerando todo el periodo de estudio, ya que la relación entre la NAO y el régimen pluvial y fluvial es compleja y no estacionaria (Chevalier et al., 2014).

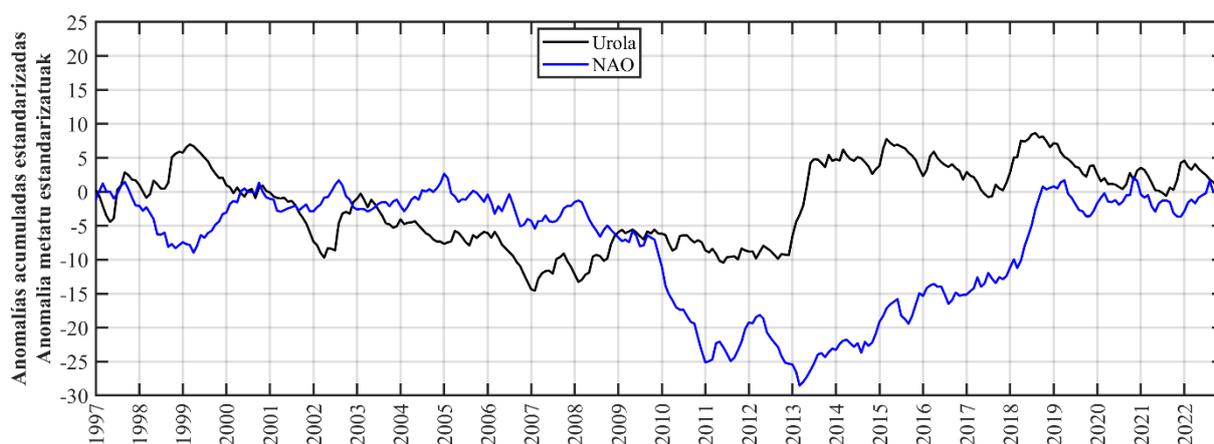


Figura 33. Anomalías acumuladas estandarizadas de los datos mensuales de caudal del Urola y de la NAO durante el periodo 1997-2022.

3.4.4 Conclusiones sobre la variabilidad del caudal y su influencia en la clorofila

De estudio climatológico e hidrográfico, a partir de una serie reciente de 26 años de duración, se pueden extraer las siguientes conclusiones.

Las anomalías mensuales del caudal en el Urola responden de forma lineal y simultánea a las anomalías de la precipitación. Cabe destacar 2013 por ser excepcionalmente lluvioso durante la primavera y el verano, y 2022 por presentar anomalías negativas de caudal durante prácticamente todo el año.

En esta serie se pueden distinguir tres periodos, de unos 7-9 años de duración cada uno, en los cuales las condiciones que afectan a la retención del fitoplancton dentro del estuario habrían diferido:

- Desde finales de la década de los 90 hasta mediados de la de 2000, con caudales en general por debajo de la media (exceptuando 2002) conllevarían tiempos de residencia del agua más altos y, por tanto, mayor acumulación de fitoplancton.
- El siguiente, entre 2007 y 2013, con predominio de caudales por encima de la media (exceptuando la primavera de 2011 y el verano de 2012), tenderían a exportar la biomasa fitoplanctónica fuera del estuario.

- Por último 2014 – 2022, en el cual vuelven a predominar caudales relativamente bajos (con la salvedad de 2018).

A escala regional, el régimen fluvial presenta una importante variabilidad interdecadal. A partir de 2013, los datos de caudal del Urola y de la Gironde han evolucionado de forma similar. Esto podría indicar que la variabilidad observada en el Urola responde más a cambios hidroclimáticos a escala regional que a cambios locales.

En el Norte de la Península Ibérica, la variabilidad atmosférica de baja frecuencia (NAO) no es el principal factor que gobierna el régimen pluvial y fluvial. Su influencia es compleja y varía temporalmente, por lo que no se ha podido establecer una pauta de asociación clara.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del conjunto de actividades de muestreo y seguimiento de los seis estuarios principales de Gipuzkoa durante el año 2022, pueden aportarse las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- La concentración de **clorofila** se midió entre el 5 de abril y el 4 de octubre de 2022 realizándose cuatro campañas de muestreo en cada uno de los estuarios.
- Las concentraciones de clorofila en 2022 se encontraron en el rango normal esperado en estuarios de clima templado. El valor máximo de clorofila de 2022 se observó en otoño, en aguas oligohalinas de la zona superior del estuario del Oria ($56 \mu\text{g l}^{-1}$). Este pico es de magnitud moderada. Así, en años recientes se han medido valores superiores a $100 \mu\text{g l}^{-1}$: en primavera de 2016 en el Urola y en el Urumea, y en primavera de 2021 de nuevo en el Urola.
- Los estuarios son sistemas que presentan una gran variabilidad en sus condiciones hidrográficas a diferentes escalas temporales (diaria, estacional, interanual, etc.). La variabilidad a corta escala temporal dificulta la interpretación de los datos y puede en muchas ocasiones enmascarar posibles tendencias a largo plazo. Por ello, el estudio de la evolución de estos sistemas hace necesario que la toma de datos se realice de forma sistemática y durante varios años. Además, las técnicas matemáticas y estadísticas tienen que ser adecuadas para filtrar cambios que en apariencia pueden parecer reales, pero que no son representativos de las condiciones medias.
- En la aparición de picos de clorofila pronunciados, además de la presión antrópica, posiblemente influyen las condiciones de estiaje, que favorecen la retención del fitoplancton en la cabecera de los estuarios y que suelen estar asociadas a menor nubosidad (por tanto, más disponibilidad de luz para el fitoplancton). En este informe se analizan las variables meteorológicas e hidrográficas en una de las cuencas, la del Urola, y puede verse que, en términos generales, coinciden los picos más fuertes de clorofila con los valores más bajos de precipitación y caudal.
- Por otra parte, parece estar ocurriendo un adelanto de la época en la que se registran los picos de clorofila, en el tramo oligohalino o en aguas de carácter muy similar. Esto podría ser también consecuencia de factores de tipo climático. Así, desde 2014 se observan más picos de clorofila en primavera, cuando lo habitual en estos estuarios era que se detectasen en verano.
- La variabilidad espacial de la clorofila en los estuarios de Gipuzkoa pone de manifiesto importantes diferencias hidrográficas entre ellos. En los estuarios donde el caudal fluvial es alto en relación al volumen de agua del estuario, el agua se renueva con rapidez. En estos estuarios dominan los procesos de dilución y el transporte de las poblaciones planctónicas hacia el mar. Este es el caso del Deba, Urola, Oria y Urumea. Por ello, los máximos de clorofila tienen lugar en situaciones de calma atmosférica y en las zonas media y superior (donde el intercambio mareal se

ve más reducido). Estos picos están, así, asociados a aguas de baja salinidad, lo que se conoce como zonas oligohalinas (0,5–5 PSU) o mesohalinas (5–18 PSU).

- En sistemas de mayor volumen y, por lo tanto, con mayor tendencia a la retención del agua, la concentración de clorofila se distribuye de forma más homogéneas a lo largo de su extensión. Es el caso de las bahías o zonas inferiores de los estuarios del Oiartzun y del Bidasoa. Por ello, en estos estuarios los máximos también pueden encontrarse en aguas polihalinas (salinidad entre 18 y 30 PSU) y euhalinas (salinidad entre 30 y 35 PSU).
- En el estuario del Oiartzun llama la atención que 8 de los 20 picos de la serie temporal de clorofila (1998-2022) se hayan detectado en los dos últimos años y hayan abarcado un periodo bastante amplio (mayo, junio, julio y septiembre) cuando lo habitual era que tuvieran lugar en los meses centrales del verano.
- En cuanto al **oxígeno disuelto**, se dispone de una serie temporal muy extensa, de más de 30 años en la mayoría de los estuarios. Las concentraciones más bajas, indicadoras de hipoxia, se detectaron en los primeros años de la serie temporal en algunas estaciones del Urumea, en la Regata Añorga y en el Río Mijoa, así como a lo largo de todo el estuario del Oiartzun, salvo en la zona de la bocana.
- Desde finales de los años 90, se han observado tendencias crecientes en la concentración de oxígeno disuelto. Estas tendencias pueden ser explicadas por las importantes actuaciones de saneamiento o desvío de vertidos llevadas a cabo. Así, en el estuario del Oiartzun las aguas presentan una mayor oxigenación desde el desvío de buena parte de los vertidos a cala Murgita en 1996, y la puesta en marcha de la depuración durante la década del 2000. En el Urumea los mínimos de oxígeno anuales se hicieron mucho menos acusados en respuesta a las actuaciones de saneamiento llevadas a cabo en la década de los 90.
- Además de los factores antrópicos, los factores climáticos (precipitación y descarga fluvial) son responsables de una parte sustancial de la variabilidad interanual observada en el oxígeno. Entre 1999 y 2007 se observó un ligero descenso del oxígeno en muchas de las estaciones de medida, que podría deberse a fluctuaciones naturales relacionadas con la meteorología (descenso de las precipitaciones anuales, y algunos años de sequía estival). Además, desde 2014 parecen ser más frecuentes los descensos del oxígeno durante los meses de octubre y/o noviembre.
- En 2022 se observan, en general, buenas condiciones de oxigenación a lo largo de los estuarios de Gipuzkoa. Ésta es la situación habitual desde finales de la década del 2000, cuando ya es difícil observar concentraciones por debajo de 5–6 mg·l⁻¹ en las estaciones de muestreo. Como excepción, todavía se detectan esporádicamente valores algo más bajos en el Río Mijoa y en algunas estaciones cercanas al estuario del Oiartzun (Regata Molinao y Puente de Lezo). En la dársena de La Herrera, estuario del Oiartzun, la recuperación ha sido más tardía, pero desde 2018 parece consolidada.

- Hay que señalar sobre el oxígeno que en el Urumea en años recientes se aprecia cierto descenso en la concentración media y en los mínimos anuales, lo cual podría ser deberse a factores climáticos (prolongación e intensificación de las condiciones de estiaje).
- En cuanto a los **nutrientes** que más se relacionan con la presión antrópica (**amonio y fosfato**) los valores medios, al igual que en los cinco años precedentes, son característicos de *muy buen* o *buen* estado fisicoquímico en los seis estuarios de Gipuzkoa. Las muestras analizadas son de muy baja salinidad (<1 PSU) y, por tanto, representativas de las cargas de nutrientes que llegan de los ríos. Por ello, reflejan el efecto del saneamiento efectuado en las principales cuencas. Sin embargo, en el Río Mijoa se siguen detectando todos los años picos muy elevados de amonio que son indicadores del aporte de aguas ricas en este nutriente.
- **Para trabajos sucesivos** se recomienda que los **muestreos de clorofila** se sigan realizando durante la época de crecimiento del fitoplancton (desde primavera hasta comienzos de otoño). En invierno no se recomienda muestrear ya que las condiciones de iluminación en la columna de agua son limitantes, y porque las riadas son más frecuentes e impiden el asentamiento del fitoplancton en el estuario. Además, también se corre el riesgo de introducir valores de clorofila erróneamente altos, que estarían causados por el material vegetal arrastrado por los ríos. Por ello, se recomienda que el muestreo de la clorofila incluya un mínimo de cuatro meses **entre abril y octubre**.
- **Como conclusión final**, cabe destacar la importancia del seguimiento sistemático de los estuarios al objeto disponer de series temporales de una longitud suficiente para determinar la evolución de la calidad ambiental de estos sistemas. En este sentido es recomendable seguir con la toma de muestras durante 2023.

5 BIBLIOGRAFÍA

- Bald, J., 2005. Propuesta para la evaluación del estado físico-químico de las aguas costeras y de transición del País Vasco. Tesis doctoral. Universidad de Navarra.
- Barnston, A.G., R.E. Livezey, 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*, 115: 1083-1126.
- Belzunce, M.J. 2011. Análisis de sedimentos del emisario submarino de Zarautz: control del impacto ambiental en el área de influencia del emisario entre los años 2004 a 2011. Informe elaborado por AZTI para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Diputación Foral de Gipuzkoa. 20 pp.
- BOE, 2011. Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas. Boletín Oficial del Estado, Núm. 19, Sec. I., pp. 6854-6870. <http://www.boe.es>.
- BOE, 2013. Real Decreto 400/2013, de 7 de junio, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. Boletín Oficial del Estado, Núm. 137, Sec. I., pp. 43501-43601. <http://www.boe.es>.
- BOE, 2015. Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Boletín Oficial del Estado, Núm. 219, Sec. I., pp. 80582-80662. <http://www.boe.es>.
- Borja, A., M.J. Belzunce, R. Castro, J. Franco, F. Villate, V. Pérez, 2000. Seguimiento ambiental de los estuarios del Nervión, Barbadún y Butrón durante 1999. Informe inédito para el Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia. 265 pp. + anexos.
- Borja, A., M.J. Belzunce, J. Franco, M. Garmendia, I. Muxika, M. Revilla, V. Valencia, 2009. Informe sobre zonas sensibles a la eutrofización en el País Vasco. Informe elaborado por AZTI para la Agencia Vasca del Agua, 193 pp.
- Borja, A., J. Bald, M.J. Belzunce, J. Franco, J.M. Garmendia, J. Larreta, I. Muxika, M. Revilla, J.G. Rodríguez, O. Solaun, A. Uriarte, V. Valencia, I. Zorita, I. Adarraga, F. Aguirrezabalaga, I. Cruz, A. Laza, M.A. Marquiegui, J. Martínez, E. Orive, J.M^a Ruiz, S. Seoane, J.C. Sola, A. Manzanos, 2010. Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Informe elaborado por AZTI para la Agencia Vasca del Agua. 21 Tomos, 707 pp.
- Carletti, A., A.-S. Heiskanen (eds.), 2009. Water Framework Directive intercalibration technical report. Part 3: Coastal and Transitional waters. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, *JRC Scientific and Technical Reports*.
- Chevalier, L., B. Laignel, N. Massei, S. Munier, M. Becker, I. Turki, A. Coynel, A. Cazenave, 2014. Hydrological variability of major French rivers over recent decades, assessed from gauging station and GRACE observations. *Hydrological Sciences Journal*, 59 (10): 1844-1855.
- Chust, G., A. Borja, A. Caballero, X. Irigoien, J. Sáenz, R. Moncho, M. Marcos, P. Liria, J. Hidalgo, M. Valle, V., Valencia, 2011. Climate change impacts on coastal and pelagic environments in the southeastern Bay of Biscay. *Climate Research*, 48: 307-332.
- Fontán, A., J.G. Rodríguez, J. Franco, J. Larreta, 2010. Análisis de calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2009. Informe elaborado por AZTI para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Diputación Foral de Gipuzkoa. 81 pp.
- Franco, J., 1994. Variabilidad espacio-temporal de la biomasa y producción del fitoplancton el estuario de Urdaibai. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco.
- Franco, J., R. Castro, A. Borja, F. Villate, 1998. Seguimiento ambiental de los estuarios del Nervión, Barbadún y Butrón durante 1997. Informe inédito para el Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia. 227 pp. + anexos.
- Garmendia M., S. Bricker, M. Revilla, A. Borja, J. Franco, J. Bald, V. Valencia, 2012. Eutrophication assessment in Basque estuaries: Comparing a North American and a European method. *Estuaries and Coasts*, 35(4): 991-1006.

- Harding, L., 1994. Long term trends in the distribution of phytoplankton in Chesapeake Bay: roles of light, nutrients and streamflow. *Marine Ecology Progress Series*, 104: 267–291.
- Mallin, M.A., 1994. Phytoplankton ecology of North Carolina estuaries. *Estuaries*, 17: 561–574.
- Montero, N., M.J. Belzunce-Segarra, A. Del Campo, J.M. Garmendia, L. Ferrer, J. Larreta, M. Gonzalez, M.A. Maidana, M. Espino, 2011. Integrative environmental assessment of the impact of Pasaia harbour activities on the Oiartzun estuary (southeastern Bay of Biscay). *Journal of Marine Systems* doi:10.1016/j.jmarsys.2011.06.002.
- Muxika, I., V. Valencia, 2011. Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku. Informe elaborado por AZTI para el Departamento de Desarrollo Sostenible, Diputación Foral de Gipuzkoa. 45 pp.
- Muxika, I., A. Borja, A. Fontán, J.M. Garmendia, J. Larreta, I. Menchaca, M. Revilla, V. Valencia, I. Zorita, 2017. Estudio ambiental de la zona costera de Mompás y de los estuarios de los ríos Oiartzun y Urumea (año 2017). Informe final elaborado por AZTI para el Dpto. de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas, Diputación Foral de Gipuzkoa, y para Aguas del Añarbe. 159 pp. + Anexos.
- Revilla, M., M. Garmendia, J. Franco, A. Borja, 2010. A new method for phytoplankton quality assessment in the Basque estuaries (northern Spain), within the European Water Framework Directive. *Revista de Investigación Marina*, 17(7): 149-164; <http://www.azti.es>.
- Revilla, M., J.G. Rodríguez, A. Fontán, 2011a. Análisis de la calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2010. Informe elaborado por AZTI para el Departamento de Desarrollo Sostenible, Diputación Foral de Gipuzkoa. 87 pp.
- Revilla, M., M. González, J.G. Rodríguez, I. Zorita, 2011b. Análisis de calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2011. Informe elaborado por AZTI para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Diputación Foral de Gipuzkoa. 109 pp.
- Revilla, M., A. Borja, J. Franco, I. Menchaca, V. Valencia, I. Zorita, 2011c. Estudio de la sensibilidad a la eutrofización de los estuarios del País Vasco en 2010. Informe elaborado por AZTI para la Agencia Vasca del Agua – Uraren Euskal Agentzia. 63 pp. + Anexo.
- Revilla, M., I. Muxika, 2012. Análisis de la calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2012. Informe elaborado por AZTI para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Diputación Foral de Gipuzkoa. 54 pp.
- Revilla, M., I. Muxika, V. Valencia, 2013. Análisis de la calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2013. Informe elaborado por AZTI para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Diputación Foral de Gipuzkoa. 64 pp.
- Revilla, M., J.M. Garmendia, 2014. Análisis de la calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2014. Informe elaborado por AZTI para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Diputación Foral de Gipuzkoa. 66 pp.
- Revilla, M., A. Fontán, I. Menchaca, J.M. Garmendia, 2017. Análisis de la calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2017. Informe elaborado por AZTI para el Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas, Diputación Foral de Gipuzkoa. 81 pp.
- Revilla, M., J.M. Garmendia, 2021. Análisis de la calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2021. Informe elaborado por AZTI para el Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas, Diputación Foral de Gipuzkoa. 70 pp.
- Rodríguez-Puebla, C., A.H. Encinas, J., Sáenz, 2001. Winter precipitation over the Iberian peninsula and its relationship to circulation indices. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5: 233-244.
- Sáenz, J., J. Zubillaga, C. Rodríguez-Puebla, 2001. Interannual variability of winter precipitation in northern Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 21: 1503-1530.
- SCOR-UNESCO, 1980. Determination of chlorophyll in seawater. Report of the intercalibration tests. *UNESCO Technical Papers in Marine Science*, nº 35, 20 pp.
- Strickland, J.D.H., T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Fisheries Research Board of Canada Bulletin*, 167 (2nd edition). Ottawa.

- Trigo, R.M., D. Pozo-Vazquez, T.J. Osborn, Y. Castro-Díez, S. Gámiz-Fortis, M.J., Esteban-Parra, 2004. North Atlantic Oscillation influence on precipitation, river flow and water resources in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 24: 925-944.
- URA, 2021. Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. Revisión para el tercer ciclo: 2022 – 2027. NORMATIVA. https://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-00033363/es/contenidos/informacion/plan_hidrologico_2022_2027/es_def/index.shtml
- Usabiaga, J.I., J. Sáenz, V. Valencia, A. Borja, 2004. Climate and Meteorology: variability and its influence on the Ocean. En: Borja, Á. y Collins, M. (Eds.). *Oceanography and Marine Environment of the Basque Country*, Elsevier Oceanography Series, 70: 75-95, Elsevier, Amsterdam.
- Valencia, V., J. Franco, A. Borja, A. Fontán, 2004a. Hydrography of the southeastern Bay of Biscay. En: Borja, Á. y Collins, M. (Eds.). *Oceanography and Marine Environment of the Basque Country*, Elsevier Oceanography Series, 70: 159-194, Elsevier, Amsterdam.
- Valencia, V., A. Borja, J. Franco, I. Galparsoro, E. Tello, 2004b. Medio físico y dinámica de los estuarios de la Costa Vasca. Aplicaciones en Ecología y Gestión. Informe elaborado por AZTI para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco. 92 pp. Inédito.
- Villate, F., J. Franco, L. González, I. Madariaga, A. Ruiz, E. Orive, 1991. "A comparative study of hydrography and seston in five estuarine systems of the Basque Country". En: *Estuaries and Coasts: Spatial and Temporal Intercomparisons*, ECSA 19 Symposium, M. Elliot & J.P. Ducrotoy (eds), Olsen & Olsen: 97-104.
- Weiss, R.F., 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep-Sea Research*, 17: 721-735.

6 ANEXOS

6.1 Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Deba

Estación	Localización	Zona	Fecha	Hora	Sal. (PSU)	Chl-a ($\mu\text{g l}^{-1}$)
DEB50000S	Puente Sasiola	Superior	11/04/2022	10:06	0,15	7,96
			24/05/2022	10:44	0,22	2,95
			05/07/2022	12:16	0,24	3,50
			23/08/2022	10:34	0,23	3,94
DEB53400S	Caserío Lasao	Media	11/04/2022	11:19	0,20	3,51
			24/05/2022	11:26	2,31	36,51
			05/07/2022	12:58	4,16	6,46
			23/08/2022	11:35	11,82	14,91
DEB54900S	Puente Deba	Inferior	11/04/2022	12:06	5,57	4,36
			24/05/2022	12:01	8,57	*
			05/07/2022	13:31	14,81	1,66
			23/08/2022	12:22	15,63	5,21

* Rotura del tubo en el laboratorio

6.2 Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Urola

Estación	Localización	Zona	Fecha	Hora	Sal. (PSU)	Chl-a ($\mu\text{g l}^{-1}$)
URO55000S	Puente Gorostiaga	Superior	05/04/2022	10:12	0,16	6,70
			17/05/2022	12:02	2,03	23,10
			28/06/2022	11:23	0,78	7,63
			16/08/2022	10:04	6,27	5,27
URO57000S	Puente FEVE	Media	05/04/2022	11:24	6,44	4,83
			*	*	*	*
			28/06/2022	8:52	7,97	5,70
			16/08/2022	9:28	33,00	0,68
URO58700S	Puerto de Zumaia	Inferior	05/04/2022	12:10	9,56	3,28
			17/05/2022	13:22	20,03	3,68
			28/06/2022	10:08	10,69	1,46
			16/08/2022	8:54	33,30	0,34

* No se pudo muestrear esta estación (bajamar, mareas vivas, poco caudal)

6.3 Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Oria

Estación	Localización	Zona	Fecha	Hora	Sal. (PSU)	Chl-a ($\mu\text{g l}^{-1}$)
ORI62400S	1 ^{os} embarcad. Aginaga	Superior	10/05/2022	9:27	0,18	2,61
			20/06/2022	11:33	2,42	31,92
			09/08/2022	10:51	2,25	29,09
			04/10/2022	10:16	1,72	56,02
ORI67200S	Astilleros (Atxega)	Media	10/05/2022	11:05	8,13	9,41
			20/06/2022	13:14	17,06	8,27
			09/08/2022	9:50	14,77	3,39
			04/10/2022	10:54	13,83	1,49
ORI70700S	Espigón salida al mar	Inferior	10/05/2022	12:33	9,12	5,56
			20/06/2022	14:14	27,80	1,82
			09/08/2022	10:37	24,50	2,24
			04/10/2022	11:44	21,60	0,54

6.4 Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Urumea

Estación	Localización	Zona	Fecha	Hora	Sal. (PSU)	Chl-a ($\mu\text{g l}^{-1}$)
URU44000S	Puente B ^o Txomin-Enea	Superior	03/05/2022	10:15	0,05	1,22
			14/06/2022	9:01	4,25	31,14
			27/07/2022	9:08	4,56	25,48
			26/09/2022	9:56	5,98	12,11
URU46600S	Puente de Hierro	Media	03/05/2022	11:37	5,15	0,90
			14/06/2022	9:58	13,16	21,87
			27/07/2022	8:27	18,40	4,56
			26/09/2022	9:14	21,24	0,69
URU49000S	Puente del Kursaal	Inferior	03/05/2022	12:09	15,60	0,90
			14/06/2022	10:40	19,51	3,60
			27/07/2022	8:00	29,30	0,80
			26/09/2022	8:38	31,30	0,47

6.5 Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Oiartzun

Estación	Localización	Zona	Fecha	Hora	Sal. (PSU)	Chl-a ($\mu\text{g l}^{-1}$)
OIA14000S	Cola Puerto- Río Oiartzun	Superior	26/04/2022	9:26	2,86	1,06
			07/06/2022	9:53	32,20	13,61
			19/07/2022	9:59	35,20	15,19
			20/09/2022	10:29	30,90	8,08
OIA15000S	Salida Regata Molinao	Media	26/04/2022	10:27	8,87	0,24
			07/06/2022	10:26	28,10	51,10*
			19/07/2022	10:20	31,30	12,99
			20/09/2022	10:54	27,90	12,70
OIA16700S	Canal salida al mar	Inferior	26/04/2022	11:22	21,05	0,24
			07/06/2022	11:27	32,50	4,70
			19/07/2022	10:36	34,00	7,09
			20/09/2022	11:38	33,10	5,68
OIA16200S	Dársena Herrera	Dársena	26/04/2022	10:43	8,55	0,13
			07/06/2022	10:44	24,50	6,30
			19/07/2022	9:40	33,10	8,08
			20/09/2022	11:10	31,90	8,16

* No se apreciaba coloración del agua, pero había materia vegetal flotando. Por lo tanto, este dato es probable que no se deba a fitoplancton, sino a una interferencia de dicho material con la analítica. Disco Secchi normal para esa zona (1,8 m), lo que confirma que es difícil que hubiera un bloom de alta intensidad ese día. Por lo tanto, este dato no se considera en los gráficos, ni se incluye en la base de datos.

6.6 Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Bidasoa

Estación	Localización	Zona	Fecha	Hora	Sal. (PSU)	Chl-a ($\mu\text{g l}^{-1}$)
BID07600S	Puente de Behobia	Superior	19/04/2022	12:03	0,76	5,60
			31/05/2022	11:43	2,10	5,04
			12/07/2022	11:20	3,10	7,11
			13/09/2022	10:11	9,58	2,83
BID10350S	Puente de Santiago (Irún)	Media	19/04/2022	12:35	5,99	4,29
			31/05/2022	12:28	7,98	4,51
			12/07/2022	12:04	18,64	4,75
			13/09/2022	10:55	20,34	2,58
BID13300S	Cofradía de Pescadores	Inferior	19/04/2022	13:23	24,60	0,11
			31/05/2022	13:18	25,30	*
			12/07/2022	12:29	31,60	2,89
			13/09/2022	11:32	32,60	1,46

* Rotura del tubo en el laboratorio