

# “Análisis de la calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2017”



## Informe

para:

Dpto. Medio Ambiente y Obras Hidráulicas  
Diputación Foral de Gipuzkoa

Pasaia, 21 de diciembre de 2017

<b>Tipo documento</b>	Informe
<b>Título documento</b>	"Análisis de la calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2017"
<b>Fecha</b>	21 de diciembre de 2017
<b>Código</b>	IM17CLOROF
<b>Cliente</b>	Dpto. Medio Ambiente y Obras Hidráulicas, Diputación Foral de Gipuzkoa

<b>Equipo de proyecto:</b>	Marta Isabel Revilla Rodríguez Almudena Fontán Gómez Iratxe Menchaca Cortázar Joxe Mikel Garmendia Etxandi
----------------------------	---

<p><b>Responsable de proyecto:</b> Dra. Marta I. Revilla Rodríguez</p>  <p><b>Revisado por:</b> Dr. Juan Bald Garmendia, Coordinador del Área de Gestión Ambiental de Mares y Costas</p> 
---

**Nota, este informe debe ser citado de la manera siguiente:** 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.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	5
<b>1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS .....</b>	<b>7</b>
<b>2 METODOLOGÍA .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Estaciones de muestreo.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Variables ambientales del agua.....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Toma de muestras de agua y medida de variables “in situ” .....	15
2.2.2 Análisis de la concentración de clorofila .....	18
2.2.3 Comprobación y almacenamiento de los datos .....	19
2.2.4 Evaluación de la calidad de las aguas en base a la clorofila .....	19
2.2.5 Nutrientes indicadores de vertidos: amonio y fosfato .....	21
<b>2.3 Análisis de anomalías en variables meteorológicas e hidrográficas.....</b>	<b>25</b>
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Concentración de clorofila en los estuarios de Gipuzkoa .....</b>	<b>26</b>
3.1.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal .....	26
3.1.2 Estudio del ciclo anual en cada uno de los estuarios .....	27
3.1.3 Tendencias a largo plazo de la clorofila en cada estuario.....	35
<b>3.2 Contenido de oxígeno disuelto en los estuarios de Gipuzkoa.....</b>	<b>44</b>
3.2.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal .....	44
3.2.2 Tendencias a largo plazo del oxígeno en cada estuario.....	46
<b>3.3 Concentraciones de amonio y fosfato.....</b>	<b>59</b>
3.3.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal .....	59
3.3.2 Situación de los nutrientes indicadores de vertidos en el año 2017 .....	60
<b>3.4 Variables meteorológicas e hidrográficas .....</b>	<b>65</b>
3.4.1 Anomalías del régimen fluvial y pluvial del Urola relativas al periodo 1998-2016... ..	65
3.4.2 Escala geográfica local y regional.....	67
3.4.3 Teleconexiones climáticas .....	68
3.4.4 Conclusiones sobre la variabilidad del caudal y su influencia en la clorofila .....	69

4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5	BIBLIOGRAFÍA.....	75
6	ANEXOS.....	79
6.1	Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Deba.....	79
6.2	Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Urola.....	79
6.3	Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Oria.....	80
6.4	Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Urumea.....	80
6.5	Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Oiartzun.....	81
6.6	Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Bidasoa.....	81

## 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.

En la Unidad de Investigación Marina de AZTI, la filtración y analítica de clorofilas las llevaron a cabo Ainhoa Arévalo Pozo, Maite Cuesta Trula, Irene Gómez Pérez, Deniz Kukul Villanueva, Marivi Lucero González, M<sup>a</sup> Inmaculada Martín Mikelarena y Naiara Serrano Servan. Maite realizó también la introducción de datos e Inmaculada se encargó de la coordinación de los trabajos de los analistas.



## 1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

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

A partir de 1999, AZTI-Tecnalia lleva a cabo el análisis de la concentración de clorofila en muestras de agua proporcionadas por la Diputación y elabora informes anuales sobre la calidad de estos sistemas.

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

Así, anualmente, se ha descrito 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 2017 y es una continuación de los informes anuales efectuados desde 1999.

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, los técnicos de la Diputación son los responsables de la toma de muestras de agua en los estuarios y del envío de estas al centro de Pasaia de AZTI. El personal de AZTI realiza la analítica de las muestras y 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, entregados en los estadillos originales (en papel) 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 2017, 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:** Descripción de los patrones de variación de las precipitaciones y el caudal fluvial en las últimas décadas. El objetivo es averiguar si el incremento en la clorofila observado en el estuario del Urola en los años 2014, 2015 y 2016 está relacionado con la variabilidad del régimen fluvial o, por el contrario, podría ser consecuencia de un deficiente saneamiento de la cuenca.

## 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 una estación en la Regata Añorga (Ibaeta) y otra en el Río Mijoa (Mutriku) (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). Algunas estaciones dejaron de muestrearse a comienzos de la década del 2000, pero la mayoría abarca más de 25 años de medidas para las variables fisicoquímicas y más de 15 para la clorofila.

**Tabla 1.** Estaciones incluidas 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	Estación	Localización	Código	SERIE TEMPORAL		SALINIDAD (máximo)
				Físico-Químicas	Clorofila "a"	
DEBA	DEB50000S	Puente Sasiola	6	1987-	1999-	<18
	DEB51000S	Barrio Astigarribia	5	1987-2001		<18
	DEB52200S	Puente F. E. V. E	4	1987-		<18
	DEB53400S	Caserío Lasao	3	1987-	1999-	18-30
	DEB54300S	Astilleros Finca Laskibar	2	1987-		18-30
	DEB54900S	Puente Deba	1	1987-	1999-	>30
	DEB55400S	Espigón salida al Mar	0	2001-		>30
	MIJ04450S	Río Mijoa MUTRIKU		2004-		<18
UROLA	NAR07500S	Regata Narrondo	8	2006-		18-30
	URO52800S	Puente Saburutx	7	1987-	1999-2012	18-30
	URO54100S	Kondekua	6	1987-		18-30
	URO55000S	Puente Gorostiaga	5	1987-	1999-	18-30
	URO55800S	Marismas	4	1987-		18-30
	URO57000S	Puente de F.E.V.E.	3	1987-	1999-	>30
	URO57900S	Puente de la N-634	2	1987-		>30
	URO58700S	Puerto de Zumaia	1	1987-	1999-	>30
ORIA	ORI58600S	Km 4 N-634		1985-2001		<18
	ORI60200S	Puente San Esteban	5	1986-	1999-2012	<18
	ORI62400S	1 <sup>os</sup> embarcaderos Aginaga	4	1986-	1999-	<18
	ORI64700S	2 <sup>os</sup> embarcaderos Aginaga	3	1986-	1999-2012	18-30
	ORI67200S	Astilleros (Atxega)	2	1986-	1999-	>30
	ORI68700S	Puente Orio	1	1986-	1999-2012	>30
	ORI70700S	Espigón salida al Mar	0	2001-	2001-	>30
	ANI04800S	Regata Añorga (Infierno)	7	1987-		<18

**Tabla 1 (Continuación).** Estaciones incluidas 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	Estación	Localización	Código	SERIE TEMPORAL		SALINIDAD (máximo)
				Físico-Químicas	Clorofila "a"	
URUMEA	URU38800R	Puente de Carabel		1988-2000		<18
	URU40200R	Puente de Ergobia		1988-2000		<18
	URU41300S	Curva Astigarraga	3	1987-		<18
	URU42300S	Puente del Barrio Pilar	4	1987-	1999-2012	<18
	URU42800S	Puente del Barrio Martutene	5	1987-		<18
	URU44000S	Puente del Barrio Txomin-Enea	6	1987-	1999-	18-30
	URU44600S	Puente de los cuarteles	7	1986-		18-30
	URU45300S	Puente de Eguía	8	1987-	1999-2012	>30
	URU46600S	Puente de Hierro	9	1987-	1999-	>30
	URU48200S	Puente de María Cristina	10	1987-	1999-2012	>30
	URU49000S	Puente del Kursaal	11	2001-	2001-	>30
OIARTZUN	MOL00600S	Regata Molinao	9	1989-		18-30
	OIA12200S	Puente de Renteria- Río Oiartzun	8	1989-		<18
	OIA13000S	Puente de Lezo- Río Oiartzun	7	1989-		<18
	OIA14000S	Cola del Puerto- Río Oiartzun	6	1989-	1998-	>30
	OIA14500S	Dársena de Lezo	5	1989-	1998-2012	>30
	OIA15000S	Salida Regata Molinao	4	1989-	1998-	>30
	OIA15500S	Centro del puerto	3	1989-	1998-2012	>30
	OIA16700S	Canal salida al mar	2	1989-	1998-	>30
	OIA16200S	Dársena Herrera	1	1989-	1998-	>30
BIDASOA	END10200R	Salida Regata Endara	1	1995-		<18
	BID00000R	Puente de Endarlaza	2	1995-		<18
	BID04200S	Curva Alunda-Lastaola (km 81, C-131)	3	1992-	1999-2012	<18
	BID07600S	Puente de Behobia	4	1992-	1999-	<18
	BID10350S	Puente de Santiago (Irún)	5	1992-	1999-	18-30
	BID13300S	Cofradía de Pescadores	6	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.

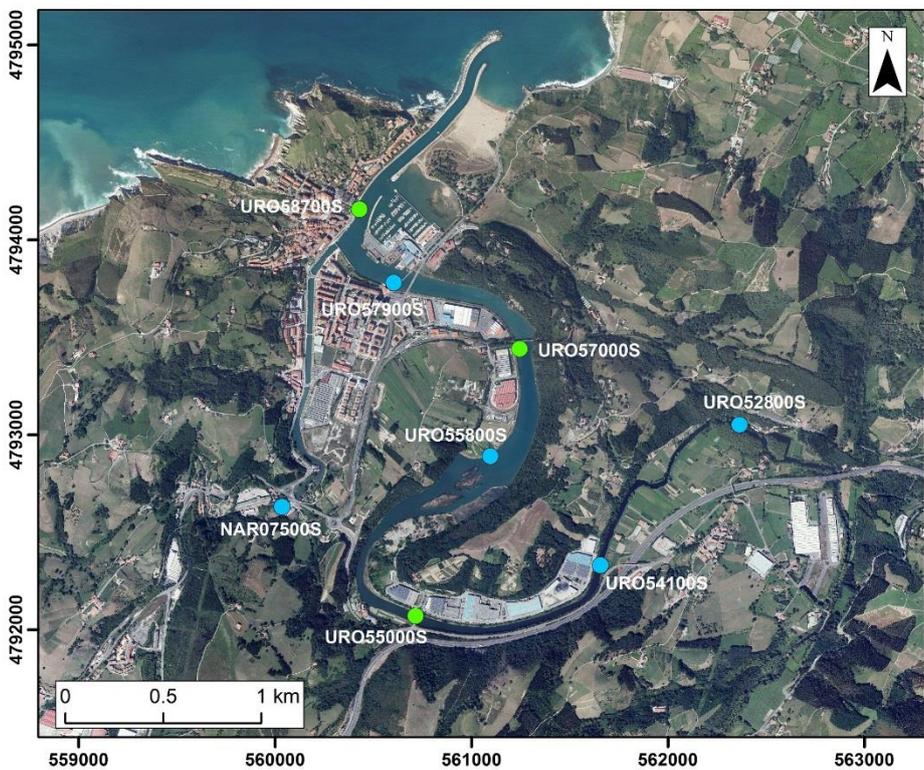
En la misma tabla se indica un rango de salinidad para cada punto de muestreo (basado en el valor máximo encontrado a lo largo de la serie temporal). Esto facilita la percepción de la influencia relativa del río frente al mar en cada punto de muestreo.

Las estaciones tienen dos denominaciones: una consiste en varias letras y dígitos, y se emplea en la base de datos de la Diputación; otra es un código abreviado de sólo un dígito, que se utiliza para el análisis de la clorofila y para algunos tratamientos de datos.

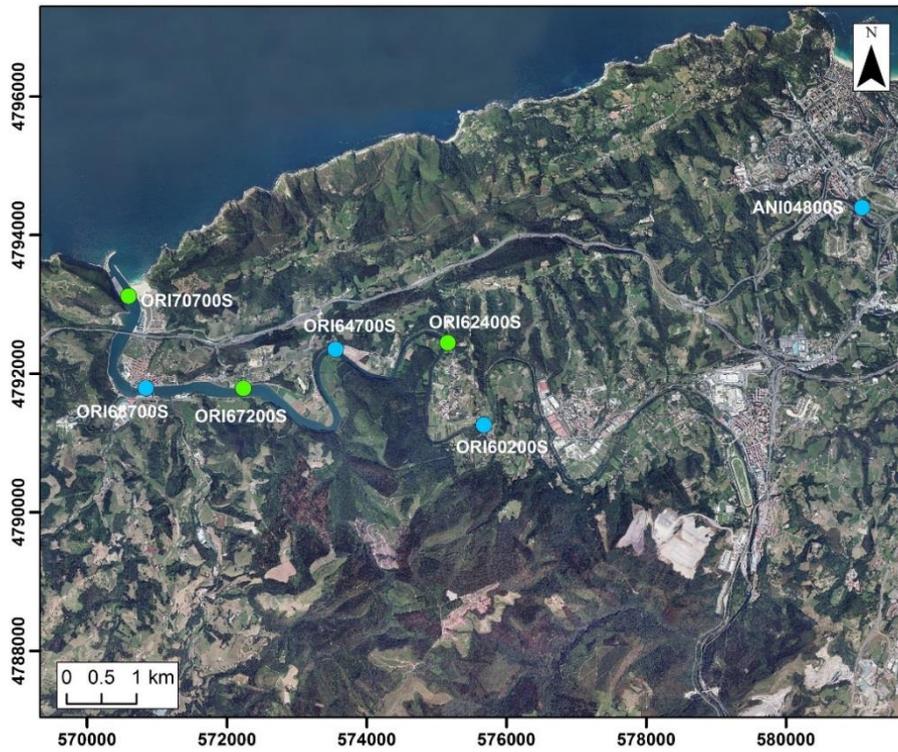
A continuación se presentan los mapas de cada estuario con la localización de las estaciones que actualmente se muestrean (**Figura 1 a Figura 6**). Las estaciones señaladas con puntos azules son aquellas donde únicamente se han medido variables fisicoquímicas. Para las que, además, se dispone de datos de clorofila en 2017, se ha utilizado el color verde.



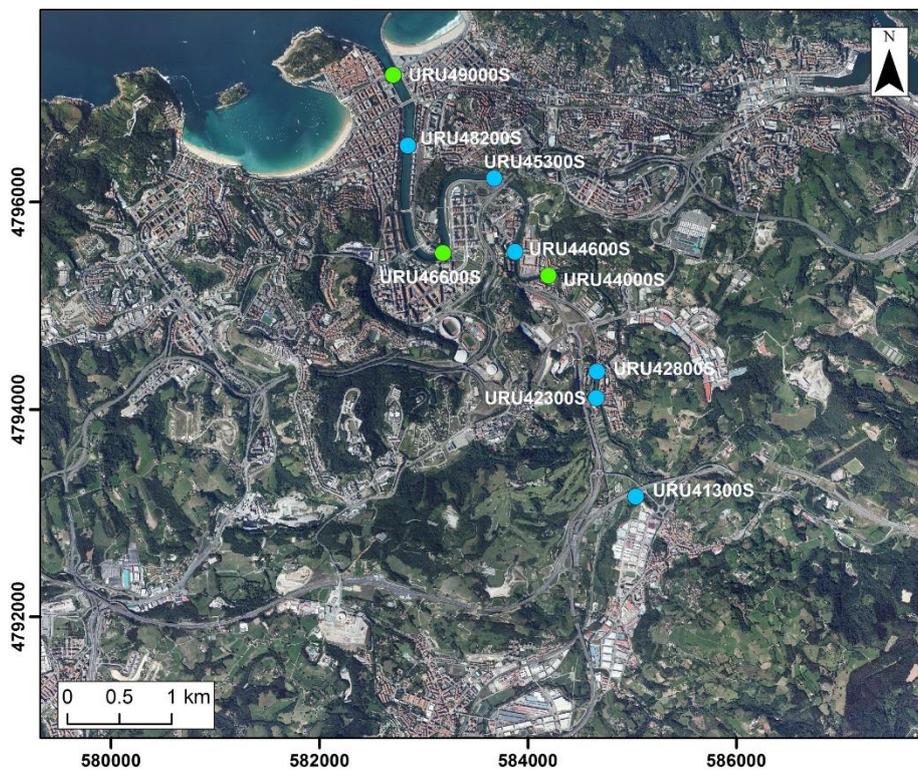
**Figura 1.** Estaciones de muestreo de aguas en el estuario del Deba y Río Mijoa durante 2017.



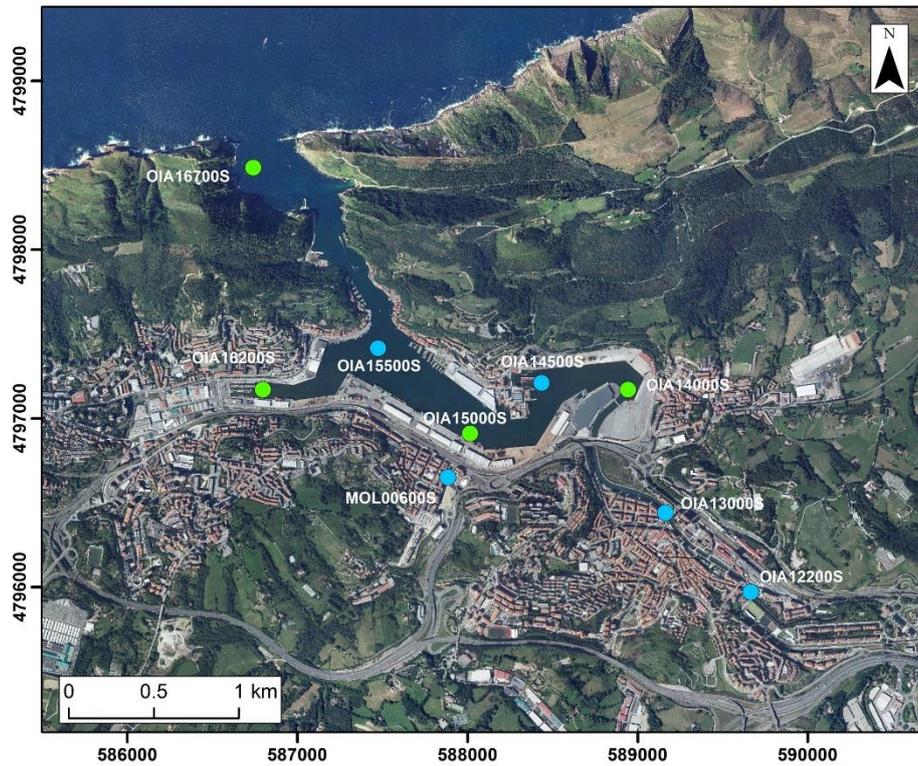
**Figura 2.** Estaciones de muestreo de aguas en el estuario del Urola y Regata Narrondo durante 2017.



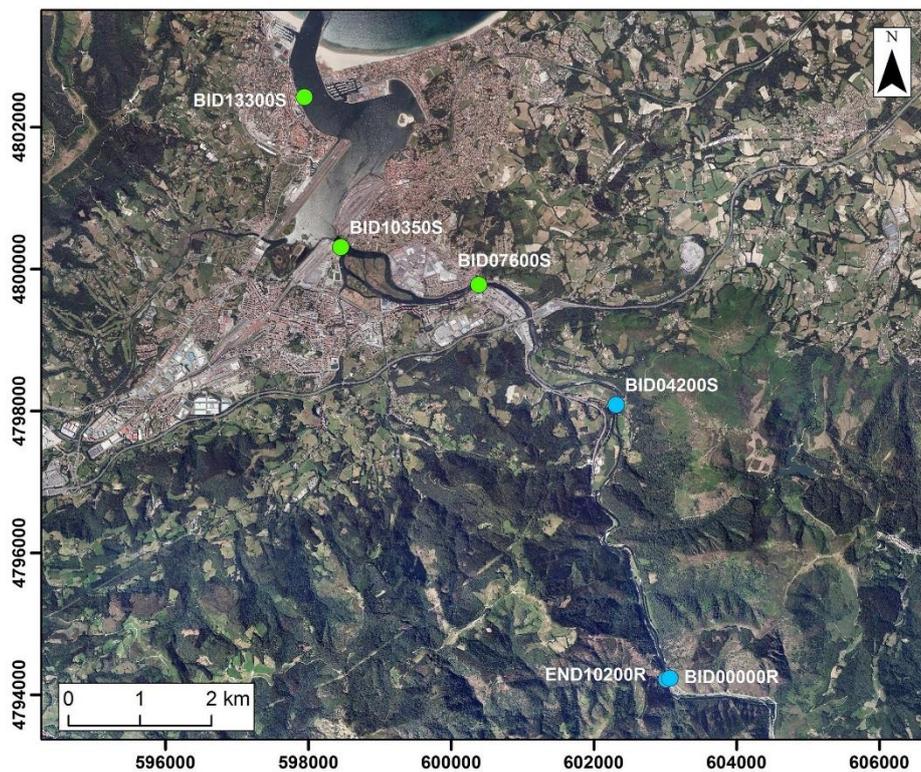
**Figura 3.** Estaciones de muestreo de aguas en el estuario del Oria y Regata Añorga durante 2017.



**Figura 4.** Estaciones de muestreo de aguas en el estuario del Urumea durante 2017.



**Figura 5.** Estaciones de muestreo de aguas en el estuario del Oiarzun y Regata Molinao durante 2017.



**Figura 6.** Estaciones de muestreo de aguas en el estuario del Bidasoa y Regata Endara durante 2017.



## 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 son recogidas por técnicos de la Diputación. Al mismo tiempo, estos miden “in situ” algunas variables acompañantes (salinidad, temperatura, pH, etc.) y también una variable de gran interés ambiental: el oxígeno disuelto. Las variables se miden justo debajo de la superficie (en el Oiartzun, además, a otras profundidades).

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.

**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
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

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

AÑO	DEBA	UROLA	ORIA	URUMEA	OIARTZUN	BIDASOA
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 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
2008	16 de noviembre de 2007	7 de diciembre de 2007		30 de noviembre de 2007		26 de noviembre de 2007
	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
2009	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
	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 febrero 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
2010	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					
	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
2011	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
2012	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					
	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
2013	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
	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
2014	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 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	
2015				18 de diciembre de 2012		
	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 <sup>(*)</sup>	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
2016	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				

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

AÑO	DEBA	UROLA	ORIA	URUMEA	OIARTZUN	BIDASOA
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
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					
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

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 mantienen en oscuridad hasta su traslado al laboratorio, que se realiza inmediatamente después de la toma de muestras (no transcurren más de 2 o 3 horas). El traslado de las muestras a AZTI lo realiza personal de la Diputación Foral de Gipuzkoa. Una vez en AZTI, las muestras son analizadas inmediatamente.

En 2017, las variables fisicoquímicas se midieron en 46 puntos, entre enero y diciembre. En cuanto a las muestras para el análisis de clorofila, éstas se tomaron en 19 puntos, entre primeros

de mayo y finales de octubre. El número total de campañas de clorofila por estuario fue de 4 (Tabla 2). En total se analizaron 76 muestras.

### 2.2.2 Análisis de la concentración de clorofila

El análisis se realiza con la metodología habitual en este tipo de medios (Strickland y Parsons, 1972). Primero, se filtran volúmenes de agua que son anotados (Figura 7). El volumen a filtrar varía según la cantidad de detrito y clorofila que haya en el agua. Es importante filtrar una cantidad suficiente para que produzca al menos algo de color en el filtro. En las zonas exteriores de los estuarios suele ser necesario filtrar volúmenes cercanos a 1 litro o superiores, mientras que en los tramos interiores los volúmenes filtrados son más pequeños. Se utilizan filtros Whatman GF/C, que retienen partículas de un tamaño de 1–1,5  $\mu\text{m}$ . Las células que aportan mayor concentración de clorofila en los estuarios de la costa vasca tienen un tamaño superior, generalmente entre 2 y 20  $\mu\text{m}$  (Orive et al., 2004), por lo que son retenidas por estos filtros.



**Figura 7.** Filtración para el análisis de clorofila.

Los filtros con el material retenido se introducen en tubos de ensayo con 10 ml de acetona (al 90%). Para asegurar una buena extracción de la clorofila “a” el tiempo empleado es de 24–48 horas. Durante este tiempo los tubos se mantienen en oscuridad y en un frigorífico. A continuación, y tras agitar los tubos para obtener una buena mezcla, los extractos se someten a centrifugación para eliminar materiales en suspensión y conseguir un extracto limpio.

Finalmente, la absorbancia del extracto centrifugado se mide en un espectrofotómetro Perkin-Elmer 551S a varias longitudes de onda. Teniendo en cuenta estas lecturas, el volumen de agua filtrada y el volumen del extracto, se aplica una sencilla fórmula para obtener la concentración de clorofila (SCOR-UNESCO, 1980).

### 2.2.3 Comprobación y almacenamiento de los datos

Una vez realizados los análisis de concentración de clorofila, los datos son introducidos en tablas de Excel junto con los de las variables fisicoquímicas medidas “in situ”.

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.

Una vez introducidos los datos, se realiza una comprobación de los mismos, con objeto de detectar posibles valores anómalos o erróneos. Estos no se tienen en cuenta en las tablas estadísticas y gráficos. En todo caso, los valores originales también se guardan tal y como fueron obtenidos.

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).

### 2.2.4 Evaluación de la calidad de las aguas en base a la clorofila

Al igual que en el informe del año anterior 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**.

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 ó 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 han 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 *Bueno* y el *Moderado*) está basado en dichas investigaciones. Para estuarios, este objetivo hasta hace pocos 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 se incluye el índice SPTT-2 (“Spanish Phytoplankton Tool Transitional”, versión 2), que es el que debe aplicarse en las aguas costeras y de transición del País Vasco conforme a la revisión del proyecto del Plan Hidrológico para la Demarcación del Cantábrico Oriental (URA, 2015; BOE, 2016). El índice SPTT-2, en comparación con los criterios que recogía el Real Decreto de 2013 para la evaluación del fitoplancton en aguas de transición, establece objetivos de calidad para un mayor número de tramos salinos (cuatro en vez de dos) y algo más exigentes en el caso de las aguas de mayor salinidad (euhalinas y polihalinas).

La metodología para la evaluación del estado del fitoplancton mediante una métrica que emplea datos de clorofila “a” se describe en detalle en [http://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-000334/es/contenidos/informacion/protocolos\\_estado\\_aguas/es\\_def/index.shtml](http://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-000334/es/contenidos/informacion/protocolos_estado_aguas/es_def/index.shtml). Dicha métrica forma parte, junto con otra que utiliza datos de abundancia celular, del índice SPTT-2.

Como paso previo a la aplicación de la métrica a la serie de datos de la Diputación, se ha hecho un estudio de la variabilidad estacional de la clorofila (véase apartado 3.1.2). Su objetivo ha sido establecer el periodo de crecimiento del fitoplancton. Para cada uno de los puntos de muestreo se ha obtenido un gráfico que representa, por cada mes del año, los valores de clorofila medidos en la serie completa.

Mediante el estudio del ciclo anual se ha comprobado que la época de crecimiento para el fitoplancton en los estuarios de Gipuzkoa está más ceñida a los meses cálidos. Además, el número de datos recopilados en los meses de enero y diciembre ha sido 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 el cálculo del índice de calidad se ha acotado entre abril y octubre.

**Tabla 3.** Objetivos de calidad para la concentración de clorofila “a” según la salinidad de la zona estuárica. Se utiliza el 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 ([http://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-000334/es/contenidos/informacion/protocolos\\_estado\\_aguas/es\\_def/index.shtml](http://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-000334/es/contenidos/informacion/protocolos_estado_aguas/es_def/index.shtml)). En el presente informe esta métrica se aplica a las medidas de clorofila realizadas entre abril y octubre.

Tramo	Euhalino	Polihalino	Mesohalino	Oligohalino
Percentil 90 ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	< 3,90	< 6,60	< 10,20	< 13,20
Salinidad (PSU)	30,1–34,4	18,1–30,0	5,1–18,0	0,5–5,0

Tramos en función de la salinidad (mediana, percentil 50, de la serie de datos histórica).

## 2.2.5 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](http://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 ( $\text{NH}_4$ ) y la de ortofosfato ( $\text{PO}_4$ ), 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  $\text{mg l}^{-1}$ . De cara a elaborar el informe, la unidad empleada es  $\mu\text{M}$ . 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 la Agencia Vasca del Agua- Uraren Euskal Agentzia (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 ( $\mu\text{M}$ )	Nitrato ( $\mu\text{M}$ )	Nitrito ( $\mu\text{M}$ )	Fosfato ( $\mu\text{M}$ )	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  $\mu\text{M}$ ) 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 ( $\mu\text{M}$ )	Nitrato ( $\mu\text{M}$ )	Nitrito ( $\mu\text{M}$ )	Fosfato ( $\mu\text{M}$ )	N total ( $\mu\text{M}$ )	P total ( $\mu\text{M}$ )	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 en el Plan Hidrológico para aguas oligohalinas (URA 2015; BOE 2016) y que se resumen en la **Tabla 6**.

**Tabla 6.** Objetivos de calidad: umbral MB/B (*Muy bueno/Bueno*) y umbral B/Mo (*Bueno/Moderado*) para diferentes tramos salinos de un estuario. Los valores indicados para todas las variables, incluida la salinidad, hay que interpretarlos como un promedio para un rango amplio de condiciones de caudal y marea.

ZONA	Salinidad (PSU)	Turbidez (NTU)		Amonio ( $\mu\text{M}$ )		Nitrato ( $\mu\text{M}$ )		Fosfato ( $\mu\text{M}$ )	
		MB/B	B/Mo	MB/B	B/Mo	MB/B	B/Mo	MB/B	B/Mo
Oligohalina (0–5 PSU)	2,8	$\leq 10$	$\leq 11$	$\leq 12,5$	$\leq 28$	$\leq 80$	$\leq 132$	$\leq 2,30$	$\leq 6,2$
Mesohalina (5–18 PSU)	11,5	$\leq 10$	$\leq 11$	$\leq 11$	$\leq 22$	$\leq 61$	$\leq 98$	$\leq 1,80$	$\leq 4,7$
Polihalina (18–30 PSU)	24,0	$\leq 8$	$\leq 9$	$\leq 7$	$\leq 14$	$\leq 33$	$\leq 50$	$\leq 1,00$	$\leq 2,5$
Euhalina estuárica (30–34 PSU)	32,0	$\leq 6$	$\leq 7$	$\leq 5$	$\leq 9$	$\leq 15$	$\leq 18$	$\leq 0,60$	$\leq 1,1$

## 2.3 Análisis de anomalías en variables meteorológicas e hidrográficas

El análisis del régimen fluvial y pluvial del Urola se ha realizado a través del estudio de 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 (<http://www.gipuzkoahidraulikoak.eus/es/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 el cambio de régimen del Urola se ha producido a escala local o los cambios producidos responden más a cambios climáticos a escala regional o del Atlántico Norte. Los datos de caudal del estuario han sido proporcionados por la Autoridad Portuaria de Burdeos.

Como índice de variabilidad climática se ha utilizado el modo principal de variabilidad atmosférica en el Atlántico Norte: la Oscilación del Atlántico Norte, o 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 de NAO se define como la diferencia de anomalías entre la alta subtropical (Azores) y la baja polar (Islandia). La fase positiva conlleva un clima más seco y frío en el sur y centro de Europa.

Por otra parte, las anomalías acumuladas son un procedimiento muy adecuado y sencillo para el estudio de cambios de régimen. Para ello, los datos de caudal y precipitación se han promediado mensualmente para suavizar la variabilidad de alta frecuencia del dato diario. Las anomalías representan la desviación del valor de un mes concreto respecto al valor medio de la serie completa correspondiente a ese mismo mes. Las anomalías se han estandarizado o dividido por la desviación estándar para poder comparar diferentes variables. Las anomalías acumuladas son el resultado de sumar sucesivamente cada una de las anomalías mensuales. Así una pendiente negativa indica un periodo donde persisten valores por debajo de la media mientras que una pendiente positiva señala una tendencia opuesta. El periodo de referencia considerado en este trabajo ha sido la longitud de la serie completa, 1998-2016.

Para evidenciar la evolución de las anomalías del ciclo estacional a lo largo del tiempo (19 años), se han construido diagramas Hövmoller de las anomalías estandarizadas, tanto para el caudal del Urola, como para la precipitación.

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Concentración de clorofila en los estuarios de Gipuzkoa

#### 3.1.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal

En la **Tabla 7** se presentan los parámetros estadísticos generales (mínimo, máximo y media) de las variables fisicoquímicas medidas a lo largo de cada estuario, junto con la concentración de clorofila “a”, desde 1999 hasta 2017 (en el Oiartzun desde 1998).

La concentración de clorofila “a” en el conjunto de los datos de los estuarios guipuzcoanos oscila entre 0,0 y 182,4  $\mu\text{g l}^{-1}$ . 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  $\mu\text{g l}^{-1}$  en varios estuarios de Carolina del Norte (EE. UU.).

**Tabla 7.** Valores mínimo, máximo y medio de temperatura (T), pH, turbidez (Turb.), concentración de oxígeno (Oxig.), saturación de oxígeno (Oxig. Sat.), salinidad (Sal.) y clorofila “a” (Chl-a). El periodo abarca hasta 2017; en el Oiartzun comienza en 1998 y en el resto de los estuarios en 1999. La serie de datos abarca los muestreos realizados entre los meses de enero y diciembre.

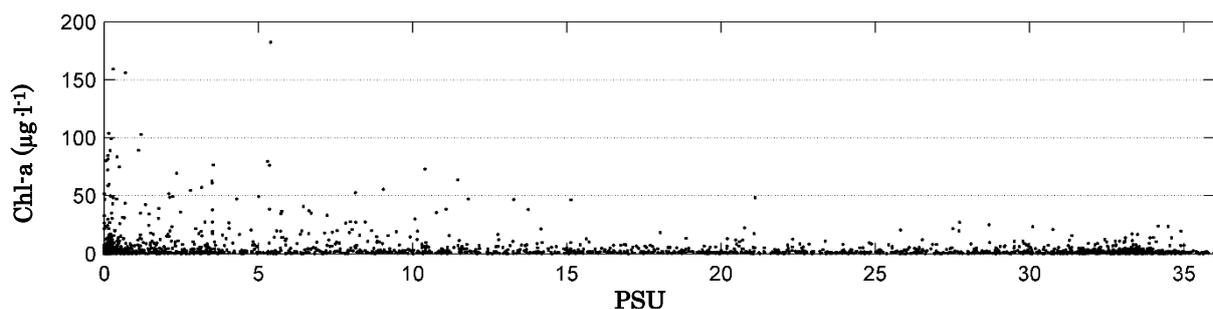
		T (°C)	pH	Turb. (NTU)	Oxig. ( $\text{mg l}^{-1}$ )	Oxig. Sat. (%)	Sal. (PSU)	Chl-a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
<b>Deba</b>	Mín.	5,9	6,1	1	0,9	9	0,0	0,0
	Máx.	25,5	10,5	232	14,2	161	35,6	81,5
	Med.	15,6	8,1	15	8,5	87	6,3	5,6
<b>Urola</b>	Mín.	6,4	6,3	1	2,3	25	0,0	0,0
	Máx.	25,1	9,1	400	21,2	204	35,0	156,2
	Med.	16,0	8,1	14	8,8	92	8,9	4,3
<b>Oria</b>	Mín.	5,4	6,9	0	0,6	7	0,0	0,0
	Máx.	27,9	9,2	960	14,3	142	36,0	159,4
	Med.	15,8	8,1	23	8,7	90	7,5	7,1
<b>Urumea</b>	Mín.	6,1	6,1	0	4,0	42	0,0	0,0
	Máx.	26,8	9,5	260	16,2	191	36,2	182,4
	Med.	14,7	7,9	12	9,3	94	5,8	4,1
<b>Oiartzun</b>	Mín.	8,3	6,0	0	0,0	0	0,0	0,0
	Máx.	28,8	10,0	600	15,3	167	36,0	27,2
	Med.	17,0	8,1	11	7,7	89	24,3	2,5
<b>Bidasoa</b>	Mín.	5,2	6,1	0	4,1	53	0,0	0,0
	Máx.	25,5	10,5	184	15,4	147	36,5	89,3
	Med.	15,1	8,0	11	9,8	99	5,8	3,9
<b>TOTAL</b>	Mín.	5,2	6,0	0	0,0	0	0,0	0,0
	Máx.	28,8	10,5	960	21,2	204	36,5	182,4
	Med.	15,7	8,0	14	8,8	92	9,7	4,5

Los datos de clorofila obtenidos en las muestras de agua de superficie durante el año 2017 pueden consultarse en los Anexos. En estos se indica también la salinidad medida “in situ” en el momento de la toma de las muestras.

La clorofila presenta una distribución relacionada en bastante medida con la salinidad (**Figura 8**). Esto no es de extrañar, ya que la salinidad influye de manera importante sobre el fitoplancton. Dicha influencia se manifiesta de forma directa (la respuesta fisiológica a la salinidad varía entre especies, con óptimos que van desde el agua dulce hasta el agua marina), e indirecta (por las condiciones de nutrientes y turbidez asociadas al porcentaje de agua dulce).

En aguas de carácter polihalino (18–30 PSU) y euhalino (30–35 PSU) la concentración ha sido siempre inferior a  $50 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  y en pocas ocasiones ha superado  $20 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Sin embargo, en aguas de salinidad más baja, la frecuencia y magnitud de los picos de clorofila ha sido mayor (**Figura 8**). Esto indica que las mayores acumulaciones de biomasa fitoplanctónica se han dado en la zona superior de los estuarios. Esto se debe, en parte, al efecto fertilizador de las aguas del río. También 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.

El crecimiento del fitoplancton en la cabecera de los estuarios puede verse favorecido en verano, época en la cual, generalmente, las aguas son menos turbias y las riadas menos frecuentes. El patrón de aumento de la clorofila hacia las zonas de menor salinidad, especialmente en verano, es común a muchos estuarios del País Vasco (Villate et al., 1991; Franco, 1994; Borja et al., 2010).



**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.

### 3.1.2 Estudio del ciclo anual en cada uno de los estuarios

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). Dicho estudio ayudó a establecer la época del año más apropiada para el

muestreo de la clorofila, que fue la del periodo desde finales de abril hasta finales de octubre. Los resultados correspondientes a cada estuario pueden consultarse con detalle en Revilla et al. (2013). En el presente informe se resumen los principales resultados obtenidos entonces y, asimismo, se aplican análisis matemáticos generales a los datos obtenidos hasta la fecha.

La clorofila puede diferir mucho entre las distintas zonas de un mismo estuario, como se deduce de la **Tabla 8**, donde se presentan los valores mínimos y máximos de las series temporales, para el periodo de mayor crecimiento (primavera-otoño). En la mayoría de los estuarios, las concentraciones más elevadas se observan en aguas de baja salinidad (fluviales, oligohalinas o mesohalinas), que pueden alcanzar incluso más de 100  $\mu\text{g l}^{-1}$ . Hay que señalar que en 2016 el Urola y el Urumea han presentado los valores más altos de la serie histórica.

**Tabla 8.** 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). Las condiciones de salinidad se han definido en base al valor de la mediana calculada en dichas series temporales y aplicando los criterios que señalan en la Tabla 3.

Estuario	Est.	Zona	Serie	Sal. (mediana)	Tramo	Chl-a mín.	Chl-a máx.
Deba	6	Superior	1999-2017	0,2	Fluvial	0,2	72,4
	3	Media	1999-2017	5,7	Mesohalino	$\leq 0,1$	81,5
	1	Inferior	1999-2017	16,5	Mesohalino	$\leq 0,1$	35,0
Urola	5	Superior	1999-2017	3,2	Oligohalino	$\leq 0,1$	156,2
	3	Media	1999-2017	16,9	Mesohalino	$\leq 0,1$	12,0
	1	Inferior	1999-2017	25,0	Polihalino	$\leq 0,1$	19,7
Oria	4	Superior	1999-2017	0,5	Oligohalino	$\leq 0,1$	103,0
	2	Media	1999-2017	13,6	Mesohalino	$\leq 0,1$	46,6
	0	Inferior	2001-2017	27,3	Polihalino	$\leq 0,1$	48,5
Urumea	6	Superior	1999-2017	0,1	Fluvial	$\leq 0,1$	80,2
	9	Media	1999-2017	9,7	Mesohalino	0,2	182,4
	11	Inferior	2001-2017	29,4	Polihalino	$\leq 0,1$	24,4
Oiartzun	6	Superior	1998-2017	30,2	Euhalino	$\leq 0,1$	21,7
	4	Media	1998-2017	31,9	Euhalino	$\leq 0,1$	25,0
	2	Inferior	1998-2017	33,6	Euhalino	$\leq 0,1$	19,6
	1	Dársena	1998-2017	31,9	Euhalino	$\leq 0,1$	23,8
Bidasoa	4	Superior	1999-2017	1,9	Oligohalino	0,2	89,3
	5	Media	1999-2017	11,2	Mesohalino	$\leq 0,1$	76,7
	6	Inferior	2001-2017	27,3	Polihalino	$\leq 0,1$	13,8
Total						$\leq 0,1$	182,4

La magnitud de los máximos suele descender hacia la desembocadura, a medida que aumenta la salinidad. 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 de 25  $\mu\text{g l}^{-1}$  (Oiartzun).

Las estaciones donde actualmente se mide la concentración de clorofila se distribuyen entre la cabecera y la zona inferior de los estuarios, y representan sus principales tramos salinos (**Tabla 8**). Como se señala en el apartado anterior, la salinidad refleja la influencia relativa de los aportes fluviales respecto a los marinos, e influye (directa e indirectamente) en el fitoplancton. Esto explica, en bastante medida, que los máximos históricos de clorofila se observen en la zona superior de los estuarios, donde la salinidad es menor. En el Oiartzun, sin embargo, las condiciones de salinidad son espacialmente más uniformes, lo que también se traduce en una menor variabilidad espacial en los picos de clorofila (20–25  $\mu\text{g l}^{-1}$ ).

A continuación, se sintetizan los resultados obtenidos en un estudio previo del ciclo anual de la clorofila; para mayor detalle puede consultarse Revilla et al. (2013).

### *Variación estacional en el estuario del Deba*

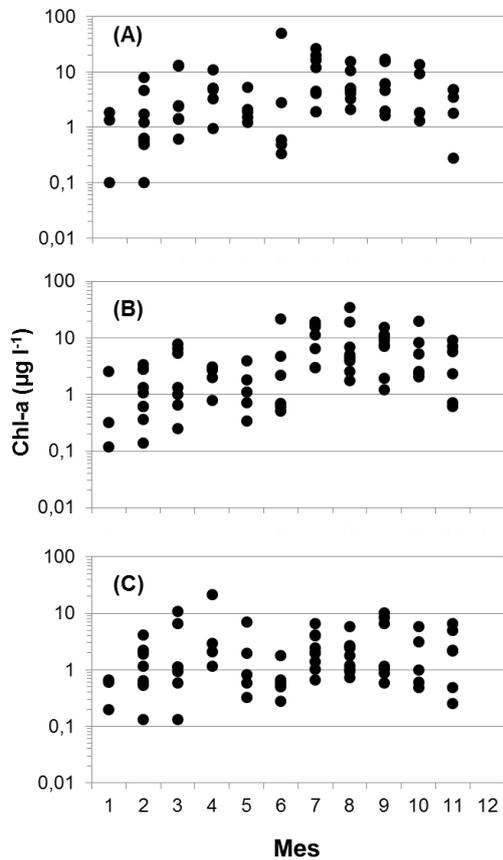
Los mínimos de la serie temporal están en torno a 0,1  $\mu\text{g l}^{-1}$  y se corresponden con meses fríos (entre enero y marzo). También se observan algunos valores bajos en junio y noviembre en la zona superior del estuario (**Figura 9 A**). Los mínimos indican la influencia de los arrastres fluviales sobre el fitoplancton en épocas lluviosas, las cuales coinciden con mayor probabilidad con los meses de invierno.

En la cabecera y zona media del estuario los mayores picos de clorofila se observan en los meses más cálidos (**Figura 9 A, B**). Este patrón cambia en la zona inferior (**Figura 9 C**), donde se podrían establecer dos épocas en los picos de clorofila: una en primavera (con el máximo absoluto en abril) y otra a finales de verano (septiembre).

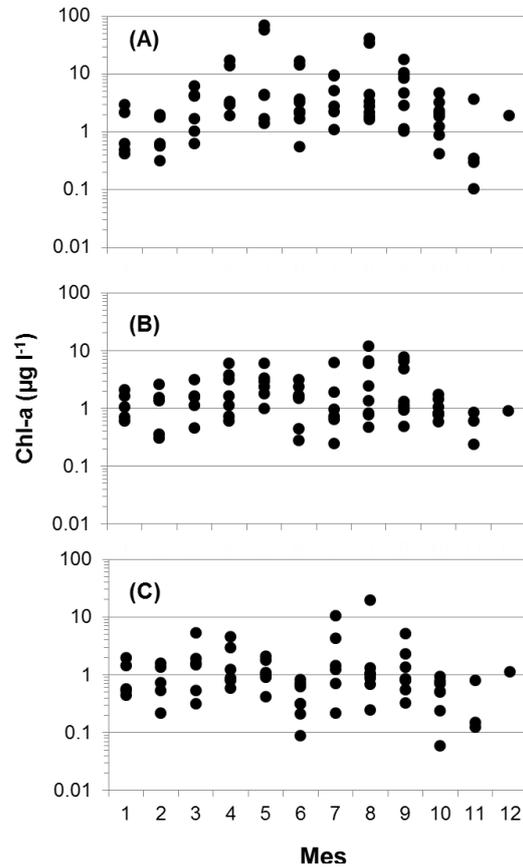
### *Variación estacional en el estuario del Urola*

En la zona superior del estuario del Urola la forma del gráfico es aproximadamente cóncava (**Figura 10 A**). Esto está causado por la práctica desaparición de valores muy bajos entre abril y septiembre, así como por la presencia de las máximas concentraciones durante esa época del año.

La clorofila en las zonas media e inferior del Urola (**Figura 10 B, C**) tiende a presentar un ciclo bimodal, con picos en primavera (entre marzo y mayo) y en verano (entre julio y septiembre). Los mínimos en las zonas media e inferior del Urola, aunque pueden observarse en cualquier época del año, son menos frecuentes en primavera.



**Figura 9.** Variación estacional de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del **Deba**: (A) Estación 6 (zona superior); (B) Estación 3 (zona media); (C) Estación 1 (zona inferior). Se incluyen los datos de la serie de medidas entre 1999 y 2012. Los datos están representados en escala logarítmica.



**Figura 10.** Variación estacional de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del **Urola**: (A) Estación 5 (zona superior); (B) Estación 3 (zona media); (C) Estación 1 (zona inferior). Se incluyen los datos de la serie de medidas entre 1999 y 2012. Los datos están representados en escala logarítmica.

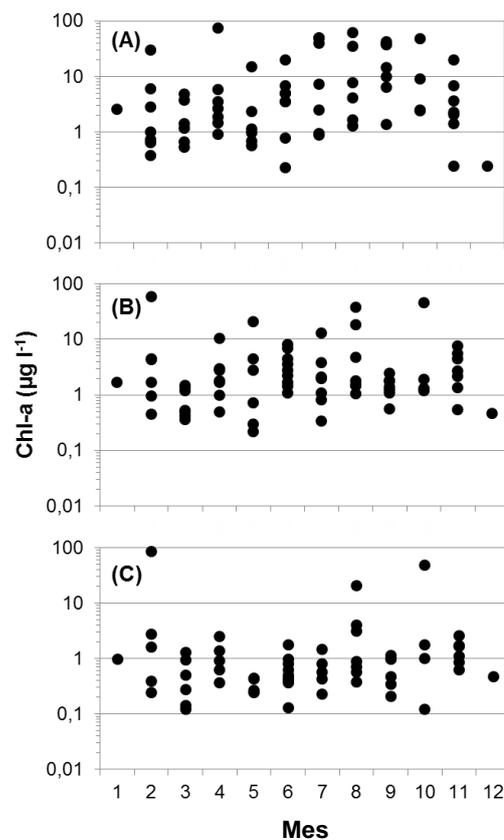
### Variación estacional en el estuario del Oria

En el Oria no puede definirse claramente un ciclo anual para los picos de concentración de clorofila.

Únicamente en la zona superior (Estación 4) se puede observar un patrón: entre julio y octubre todos los valores están por encima de  $1 \mu\text{g l}^{-1}$ , mientras que durante el resto del año pueden encontrarse valores más bajos (exceptuando enero, pero sólo se dispone de un dato) (**Figura 11 A**).

En la zona media (Estación 2), la mayor parte de los valores se encuentran comprendidos entre 1 y  $10 \mu\text{g l}^{-1}$ , habiendo ocasionalmente concentraciones por encima o por debajo de este rango (**Figura 11 B**).

En la zona inferior del Oria (Estación 0), si se exceptúan tres valores extremos (febrero, agosto y octubre), en los 12 años de la serie temporal las concentraciones varían en un rango muy estrecho (entre  $0,1$  y  $4 \mu\text{g l}^{-1}$ ), sin poderse percibir un patrón de variabilidad estacional (**Figura 11 C**).



**Figura 11.** Variación estacional de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Oria: (A) Estación 4 (zona superior); (B) Estación 2 (zona media); (C) Estación 0 (zona inferior). Se incluyen los datos de la serie de medidas entre 1999 y 2012. Los datos están representados en escala logarítmica.

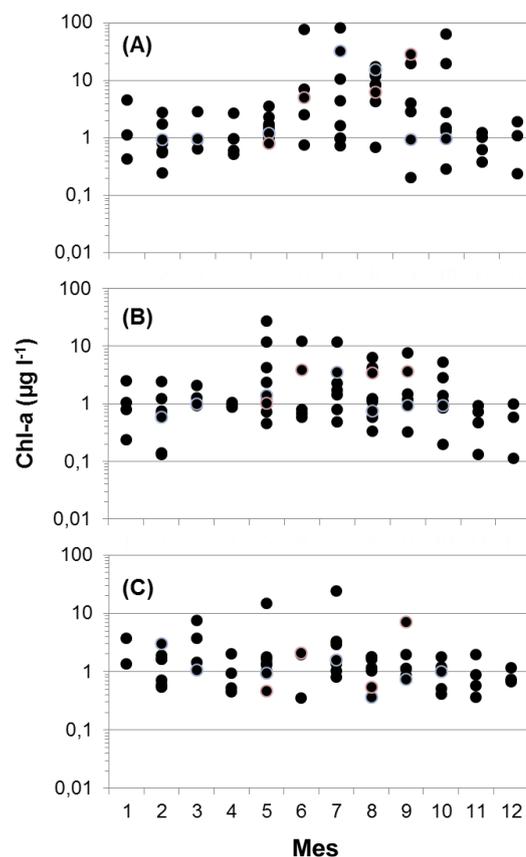
### Variación estacional en el estuario del Urumea

Para la serie temporal completa de clorofila en el Urumea, los valores más bajos se han medido en la zona media del estuario (cerca de  $0,1 \mu\text{g l}^{-1}$ ) y en los meses de noviembre, diciembre y febrero.

En la zona superior las concentraciones de clorofila más altas (entre  $10$  y  $100 \mu\text{g l}^{-1}$ ) se han detectado a lo largo del verano y comienzos del otoño: entre junio y octubre (**Figura 12 A**).

En la zona media los picos de clorofila son menos acusados (cerca de  $10 \mu\text{g l}^{-1}$ ) y abarcan los meses comprendidos entre mayo y octubre (**Figura 12 B**).

La zona inferior presenta menos variabilidad anual, en ésta se han encontrado picos esporádicos (también cerca de  $10 \mu\text{g l}^{-1}$ , como en la zona media) entre marzo y septiembre (**Figura 12 C**).



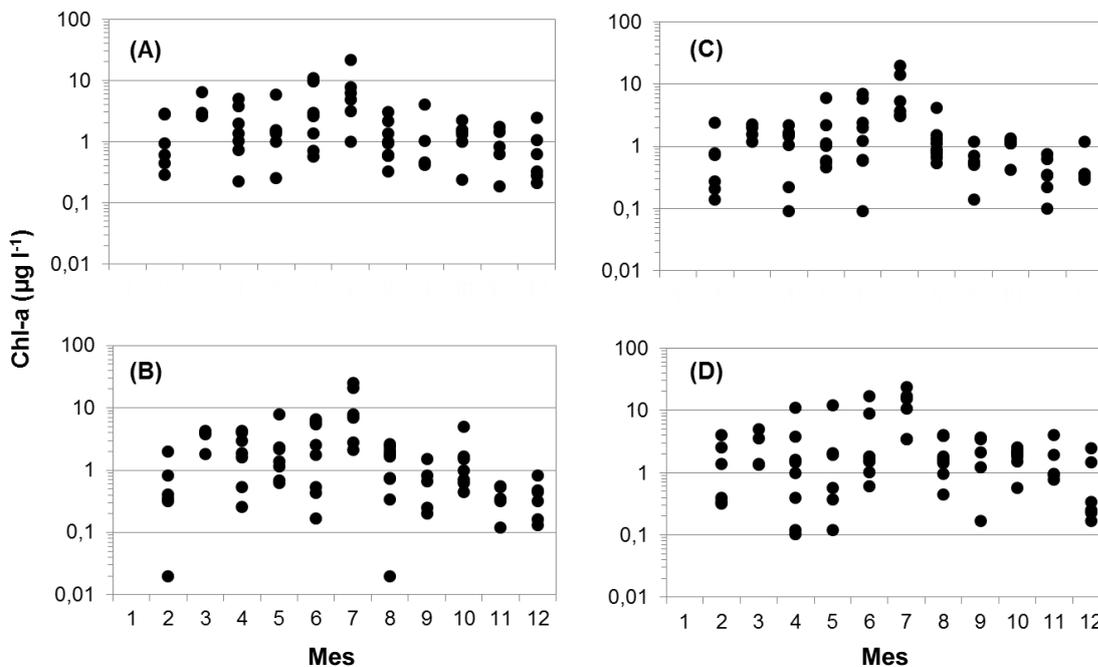
**Figura 12.** Variación estacional de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Urumea: (A) Estación 6 (zona superior); (B) Estación 9 (zona media); (C) Estación 11 (zona inferior). Se incluyen los datos de la serie de medidas entre 1999 y 2012. Los datos están representados en escala logarítmica.

### Variación estacional en el estuario del Oiartzun

El estuario del Oiartzun presenta una salinidad media más alta que la del resto de los estuarios guipuzcoanos, entre 25 y 33 PSU, lo cual indica que la influencia del mar es muy importante (Revilla y Muxika, 2012).

Como puede verse en la **Figura 13**, las concentraciones de clorofila más altas están en un rango de 10–25  $\mu\text{g l}^{-1}$ , y se han medido entre abril y julio. Las concentraciones mínimas son cercanas o inferiores a 0,1  $\mu\text{g l}^{-1}$  y pueden encontrarse en cualquier mes del año.

Hay que destacar que en la Estación 6, situada en la zona superior o cola del Puerto (**Figura 13 A**) las concentraciones mínimas son algo más altas que en el resto de las estaciones.

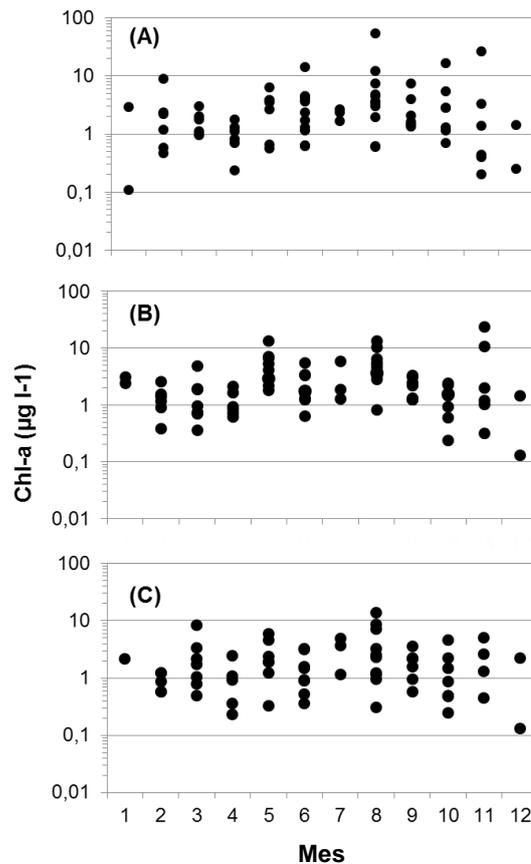


**Figura 13.** Variación estacional de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Oiartzun: (A) Estación 6 (superior); (B) Estación 4 (media); (C) Estación 2 (inferior); (D) Estación 1 (dársena). Se incluyen los datos de la serie de medidas entre 1998 y 2012. Los datos están representados en escala logarítmica.

### Variación estacional en el estuario del Bidasoa

En el Bidasoa los picos de clorofila no presentan un patrón temporal definido (**Figura 14**). Sin embargo, los valores mínimos tienden a ser menos acentuados entre mayo y septiembre.

Los valores más altos, por encima de  $10 \mu\text{g l}^{-1}$ , se han medido entre mayo y noviembre.



**Figura 14.** Variación estacional de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Bidasoa: (A) Estación 4 (zona superior); (B) Estación 5 (zona media); (C) Estación 6 (zona inferior). Se incluyen los datos de la serie de medidas entre 1999 y 2012. Los datos están representados en escala logarítmica.

### 3.1.3 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 2011 hasta 2017. Como se comenta en la Metodología, en este análisis sólo se incluyen datos de abril a octubre inclusive.

En **Tabla 9** 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, 15 datos fue 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 media o en la superior, con la excepción del Oiartzun que lo presenta en la dársena de La Herrera. Los mínimos se localizan en la zona inferior, la de carácter más marino.

**Tabla 9.** 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” ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ).

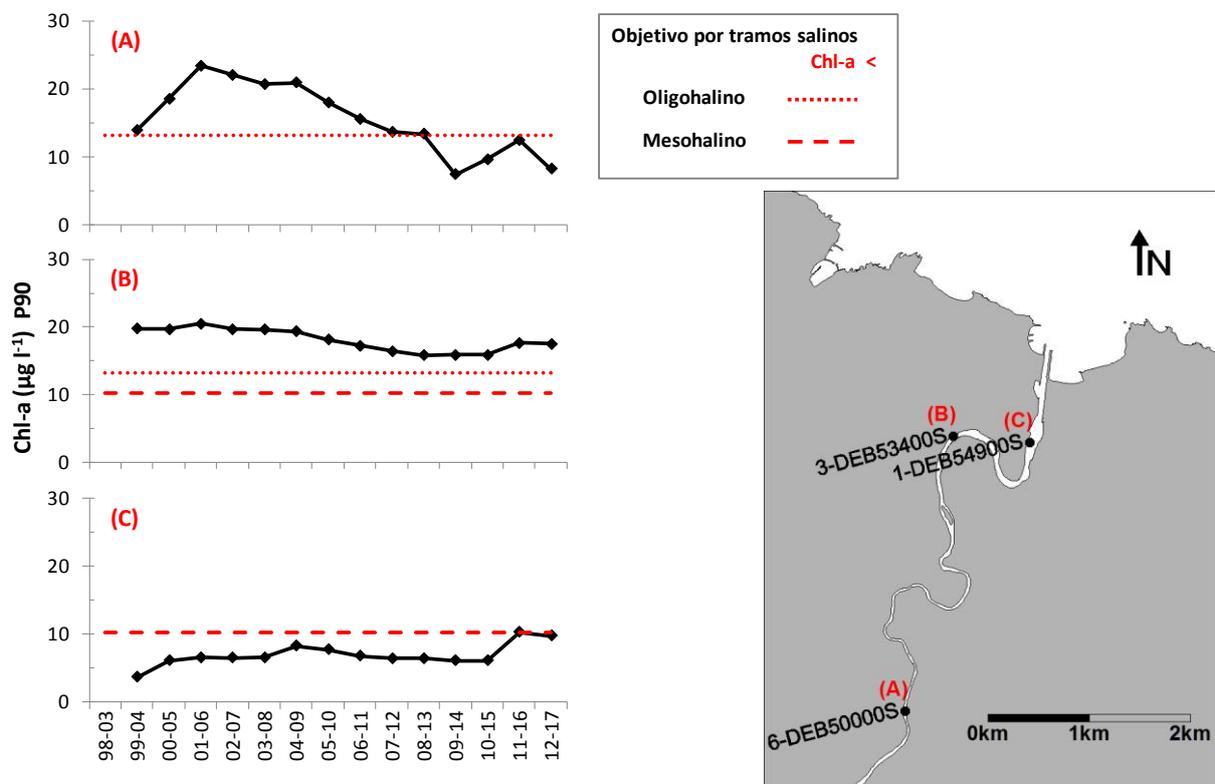
Estuario	Estación	Zona	Serie temporal	N		P90	
				Mín.	Máy.	Mín.	Máy.
Deba	6	Superior	1999-2017	15	24	7,5	23,5
	3	Media	1999-2017	16	26	15,8	20,5
	1	Inferior	1999-2017	16	25	3,6	10,3
Urola	5	Superior	1999-2017	19	26	13,3	34,9
	3	Media	1999-2017	19	26	3,2	7,7
	1	Inferior	1999-2017	19	25	2,0	5,2
Oria	4	Superior	1999-2017	16	26	29,2	54,9
	2	Media	1999-2017	17	26	2,7	27,8
	0	Inferior	2001-2017	16	26	1,1	12,2
Urumea	6	Superior	1999-2017	19	26	12,6	58,1
	9	Media	1999-2017	18	25	4,6	11,4
	11	Inferior	2001-2017	22	26	1,8	4,0
Oiartzun	6	Superior	1998-2017	17	24	5,0	8,5
	4	Media	1998-2017	17	24	5,7	10,8
	2	Inferior	1998-2017	15	24	3,2	6,0
	1	Dársena	1998-2017	17	24	5,9	14,9
Bidasoa	4	Superior	1999-2017	18	25	4,8	15,0
	5	Media	1999-2017	19	26	5,7	38,9
	6	Inferior	2001-2017	22	26	3,7	5,6
Total				15	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

Las concentraciones en la zona superior (fluvial-oligohalina) durante la primera mitad de la década del 2000 son indicadoras de eutrofización (**Figura 15 A**). Posteriormente, el índice siguió una tendencia de descenso y en los periodos más recientes se sitúa cerca o por debajo del umbral. Las zonas media e inferior (tramos oligo- y mesohalino) han mostrado mayor estabilidad a lo largo del tiempo (**Figura 15 B, C**), con concentraciones relativamente altas en la Estación 3, que indican cierta acumulación de fitoplancton en la zona media del estuario (**Figura 15 B**).

Hay que indicar que en abril de 2015 se observaron los máximos de clorofila (cerca de  $30 \mu\text{g l}^{-1}$  en la zona inferior y a  $80 \mu\text{g l}^{-1}$  en la superior). Estos picos estuvieron asociados a aguas de muy baja salinidad, de carácter fluvial ( $<0,5 \text{ PSU}$ ). Esto, junto con algunos valores moderados en 2016 ( $10\text{--}20 \mu\text{g l}^{-1}$ ) ha hecho que aumente ligeramente el valor del percentil 90 en los últimos periodos.

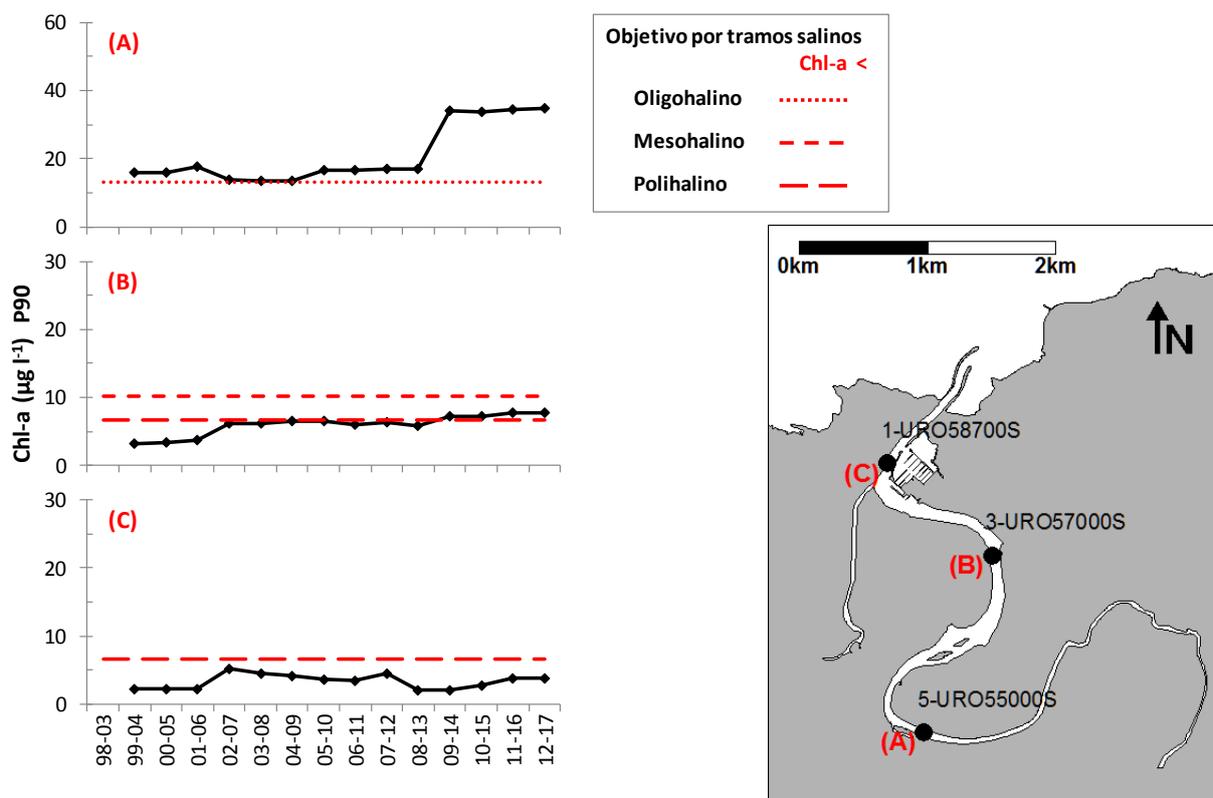


**Figura 15.** Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Deba: (A) Estación 6 (zona superior); (B) Estación 3 (zona media); (C) Estación 1 (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica. Se muestran dos umbrales en el caso de que la estación se encuentre muy cerca del límite entre dos tramos salinos (**Tabla 8**).

## Estuario del Urola

En la zona superior del estuario 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 16 A). Sin embargo, el índice repunta en 2014, indicando que en los últimos años se han dado 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 haya propiciado algunos de estos picos de clorofila (véase apartado 3.4)

El percentil 90 indica que en las zonas media e inferior no se han observado condiciones de exceso de clorofila en ninguno de los periodos de la serie temporal, esto es, desde 1999 hasta la actualidad (Figura 16 B, C). No obstante, en la zona media se percibe una tendencia de aumento.

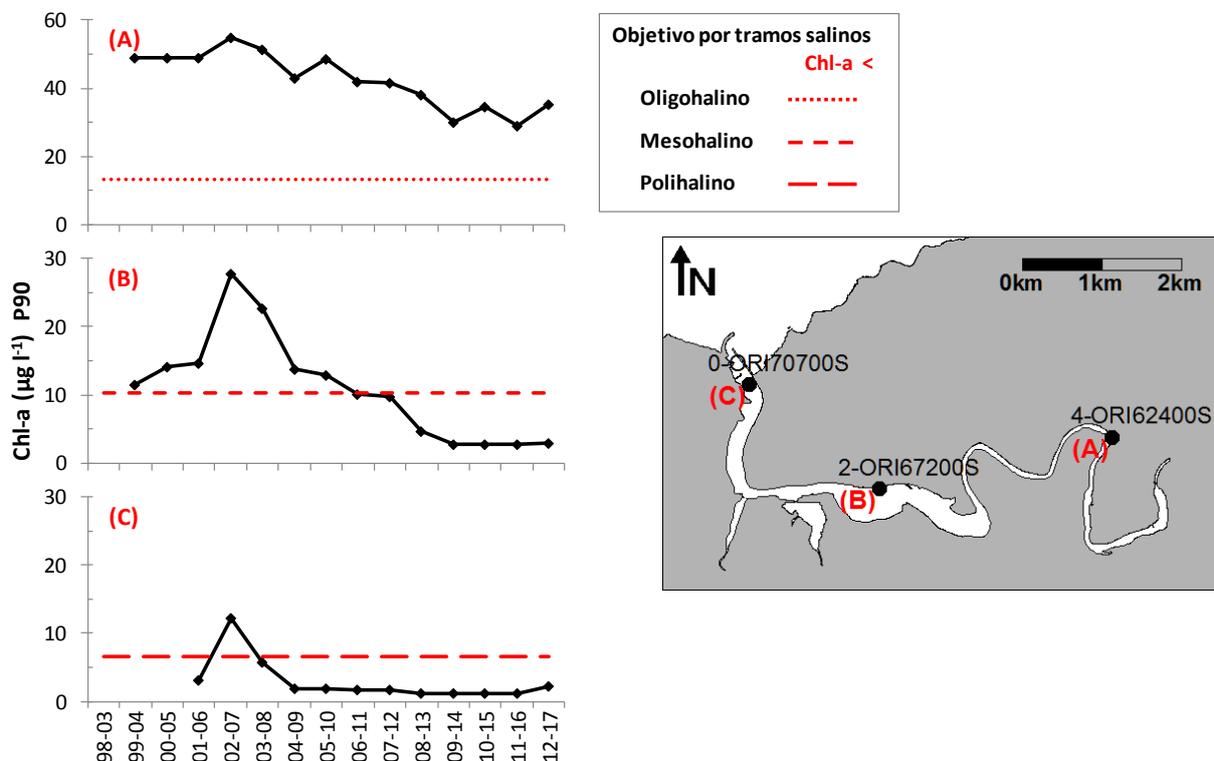


**Figura 16.** Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Urola: (A) Estación 5 (zona superior); (B) Estación 3 (zona media); (C) Estación 1 (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica. Se muestran dos umbrales en el caso de que la estación se encuentre muy cerca del límite entre dos tramos salinos (Tabla 8).

## Estuario del Oria

En el Oria el percentil 90 de la clorofila sigue un patrón de aumento hacia la zona superior, de manera inversa a la salinidad (**Figura 17**). Los niveles tan elevados de clorofila observados en la zona superior (primeros embarcaderos de Aguinaga) durante la década del 2000 indican 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. Posteriormente, los picos tienden a ser menos frecuentes y menos intensos. Aunque el percentil 90 a largo plazo ha disminuido, desde el periodo 2009–2014 se encuentra estabilizado y todavía no alcanza el umbral de calidad, que está fijado en  $13,20 \mu\text{g l}^{-1}$  para aguas de tipo oligohalino (**Figura 17 A**).

En la zona inferior y en la zona media, el percentil 90 de la clorofila indica problemas de eutrofización sólo a mediados de la década del 2000. Posteriormente el valor del índice señala una tendencia de mejoría, y actualmente se sitúa por debajo del umbral (**Figura 17 B, C**).



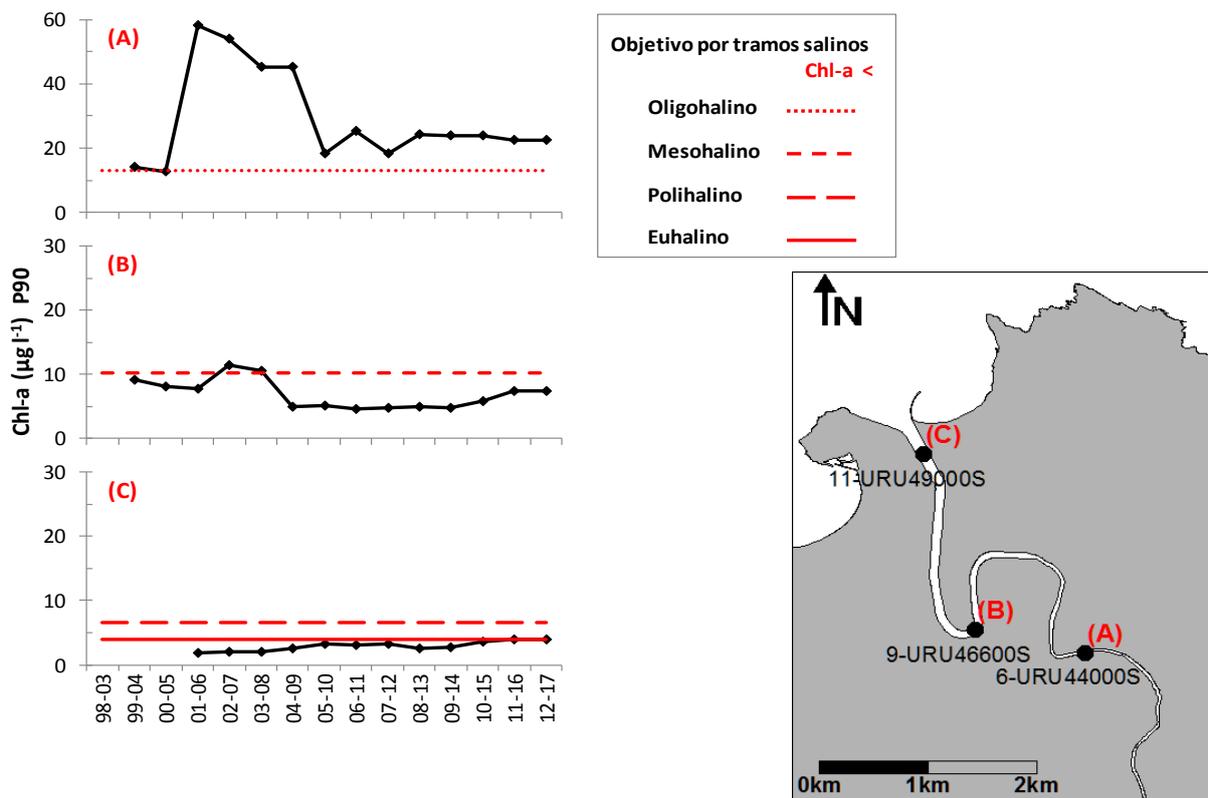
**Figura 17.** Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Oria: (A) Estación 4 (zona superior); (B) Estación 2 (zona media); (C) Estación 0 (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica.

## Estuario del Urumea

Al igual que en el Oria, en el estuario del Urumea el percentil 90 de la clorofila tiende claramente a aumentar hacia la zona superior, a medida que aumenta la influencia del río (**Figura 18**).

En la estación 6 el índice se sitúa generalmente por encima del umbral que separa el estado *Bueno* del *Moderado*, indicando que podría haber problemas persistentes de eutrofización en la zona superior del estuario (**Figura 18 A**). En estas aguas, de carácter fluvial-oligohalino, 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.

Aguas abajo el índice generalmente ha indicado *Buen estado* (**Figura 18 B, C**). Sin embargo, hay que señalar que en 2016 la estación 9 presentó el máximo histórico de la serie temporal de clorofila de la Diputación ( $\sim 180 \mu\text{g l}^{-1}$ ).



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 los años posteriores. Por el contrario, la clorofila en la zona superior del estuario (Estación 6, 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:

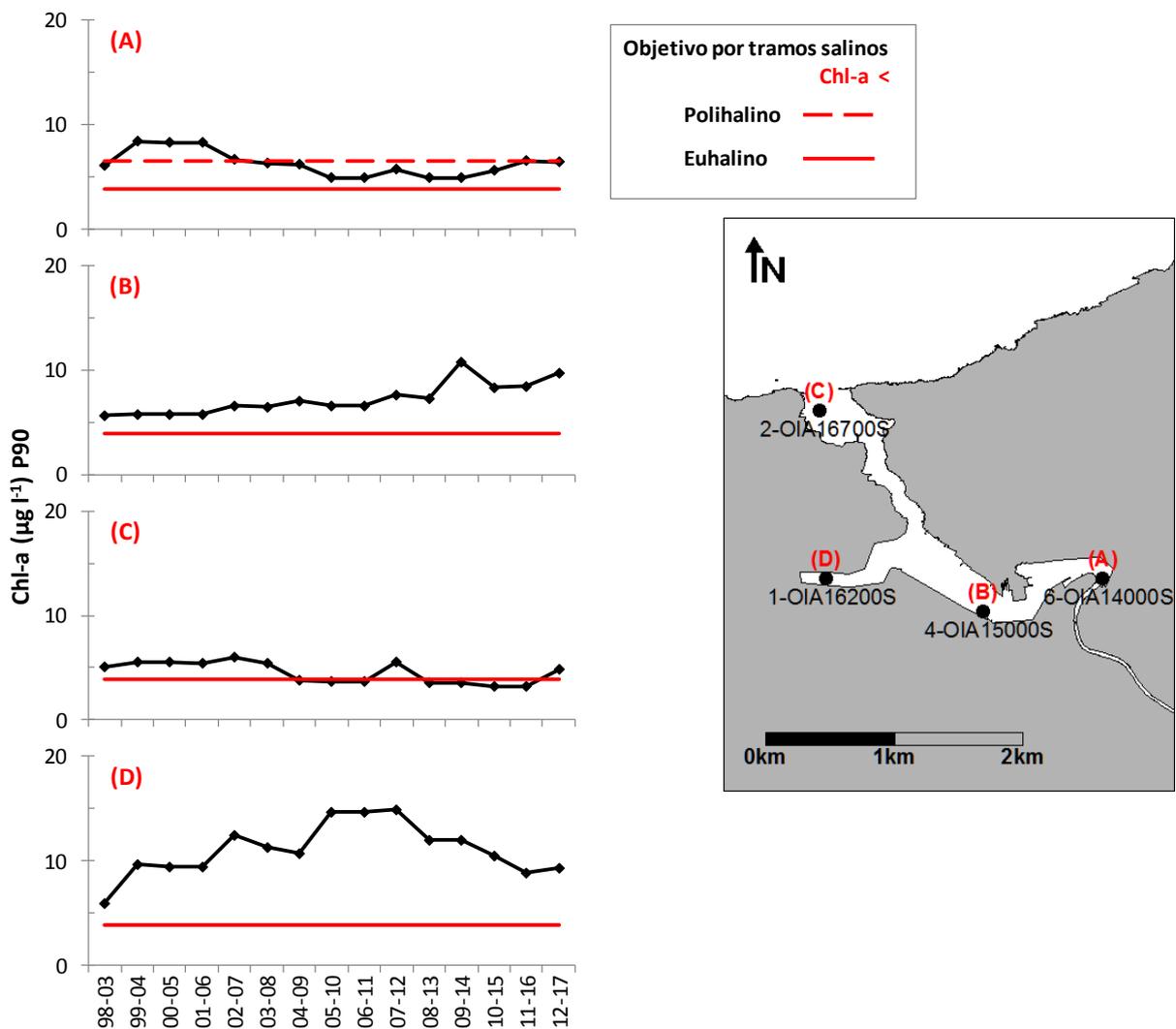
(1) mejores condiciones lumínicas (menor turbidez) por el desvío de vertidos, pero se descarta a la vista del estudio de la tendencia temporal de dicha variable realizado en un informe anterior (Revilla et al., 2011b).

(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 el Urumea después de los intensos blooms que tuvieron lugar a mediados de la década del 2000 en la cabecera, no habían vuelto a encontrarse concentraciones tan altas de clorofila. No obstante, en el año 2015 se registró un pico en la zona media (Estación 9, Puente de Hierro) que puede considerarse de nivel moderado-alto, con 52  $\mu\text{g l}^{-1}$ , y en el 2016 se ha medido el máximo histórico del estuario en esta misma estación ( $\sim 180 \mu\text{g l}^{-1}$ ). Estos dos últimos picos se han observado entre finales de primavera y comienzos del verano (en el mes de junio).

### Estuario del Oiartzun

En la serie histórica, el percentil 90 de la clorofila varía entre 3,2 y 14,9  $\mu\text{g l}^{-1}$  (Figura 19). 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, cercana a la del agua marina (Tabla 1). 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 19.** Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Oiartzun: (A) Estación 6 (zona superior); (B) Estación 4 (zona media); (C) Estación 2 (zona inferior); (D) Estación 1 (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 8).

El percentil 90 de la clorofila en el estuario del Oiartzun muestra patrones espaciales relacionados con la presión antrópica. Así, como puede verse en la **Figura 19 D**, la estación 1 (dársena de La Herrera) manifiesta valores superiores a los de otras zonas del estuario de similar salinidad. De hecho, el índice supera ampliamente el umbral, lo cual es síntoma de floraciones fitoplanctónicas de alta intensidad en dicha estación. En la dársena de La Herrera hay estudios que indican la existencia de vertidos de aguas residuales sin tratar (Revilla et al., 2011c). Además, es una zona con poca renovación (Montero et al. 2011), lo cual favorece la acumulación del fitoplancton. En esta zona el índice ha mostrado una tendencia de aumento desde el comienzo de la serie temporal (finales de los 90), aunque en años recientes parece estar remitiendo.

Los vertidos que se producen en la dársena de La Herrera también podrían afectar, debido al transporte originado por la marea, a la Estación 2 (zona inferior). En esta zona (**Figura 19 C**) también se observan frecuentemente valores del percentil 90 de la clorofila por encima del umbral, aunque no lo superan en tanta magnitud como en la dársena.

En la zona de cabecera al comienzo de la serie la tendencia del percentil es al descenso, indicando una mejora en la calidad a lo largo del tiempo, que posteriormente se mantiene con ligeras oscilaciones (**Figura 19 A**). Sin embargo, en la zona media se observa una tendencia leve pero sostenida de incremento en la clorofila, dando lugar actualmente a valores en el índice superiores al umbral establecido para aguas de carácter euhalino (**Figura 19 B**).

Hay que tener en cuenta que el estuario del Oiartzun presenta una alta susceptibilidad a la eutrofización debido a su baja capacidad de renovación del agua. 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). Por lo tanto, el llevar a cabo un buen saneamiento es importante en este estuario, especialmente en la zona de la dársena de La Herrera.

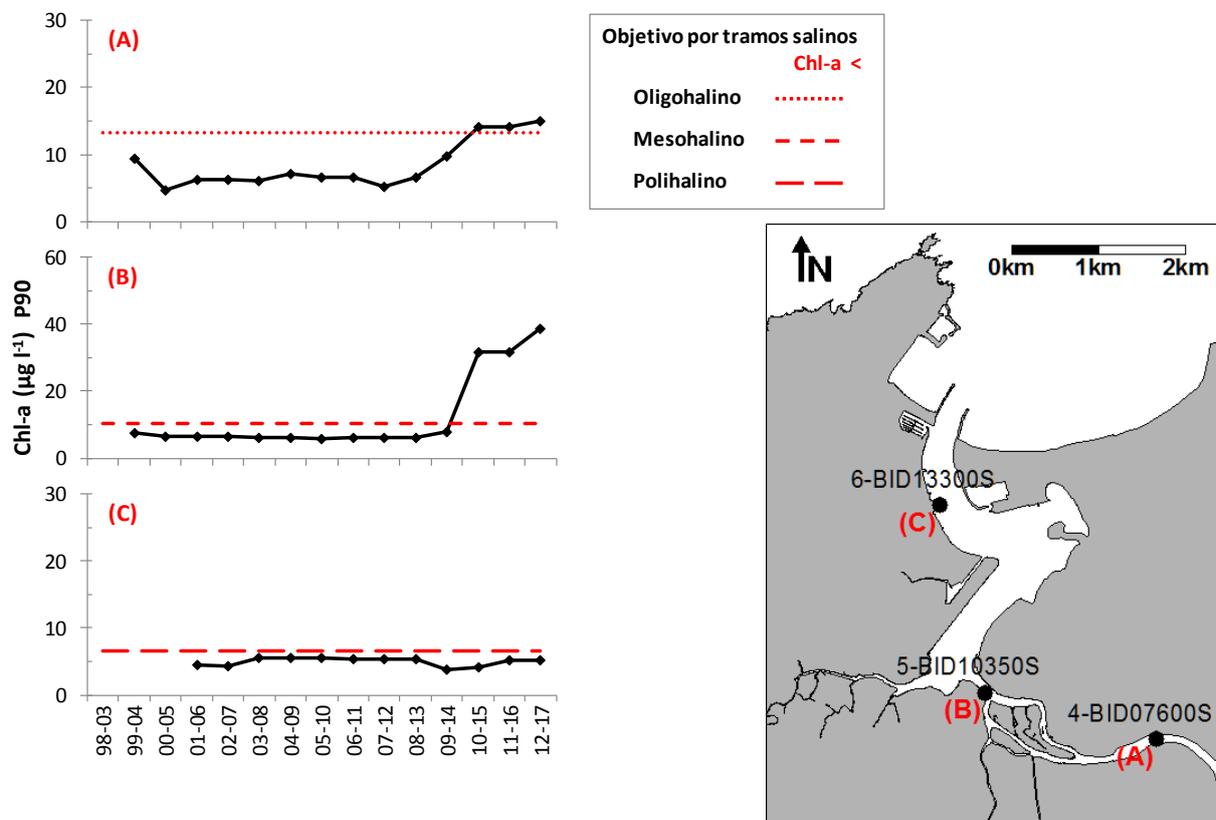
### *Estuario del Bidasoa*

De forma general a lo largo del tiempo, los valores de percentil 90 en el estuario del Bidasoa son inferiores a los que se han medido en el resto de los estuarios de Gipuzkoa, en estaciones de muestreo que presentan una salinidad similar. Sin embargo, en los dos últimos periodos de evaluación el índice muestra valores relativamente altos en la zona de cabecera (Estación 4, Puente de Behobia) y en la zona media (Estación 5, Puente de Santiago-Irún). En esta última el índice supera ampliamente el umbral indicador de eutrofización (**Figura 20 B**).

De hecho, en los años 2014 y 2015 se han registrado las concentraciones de clorofila más altas de la serie temporal de este estuario (la mayoría en meses de verano). Concretamente, en la Estación 4, en julio de 2014 se ha observado un pico de  $89 \mu\text{g l}^{-1}$ , y en la Estación 5 se han medido en dos ocasiones (julio de 2014 y septiembre de 2015) concentraciones cercanas a  $50 \mu\text{g l}^{-1}$ , así como un pico (junio de 2015) de  $77 \mu\text{g l}^{-1}$ .

Hasta años recientes, el estuario del Bidasoa no presentaba problemas de acumulación excesiva de biomasa fitoplanctónica en ninguna de las estaciones estudiadas. Por ello, debería considerarse si ha 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 puede deber a factores meteorológicos.

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.



**Figura 20.** Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Bidasoa: (A) Estación 4 (zona superior); (B) Estación 5 (zona media); (C) Estación 6 (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica.

## 3.2 Contenido de oxígeno disuelto en los estuarios de Gipuzkoa

### 3.2.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal

En la **Tabla 10** se presenta, a modo de resumen, el número de datos y los estadísticos descriptivos de cada estación para las series completas de datos (>10 años). En todos los estuarios se han observado valores  $\geq 14 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (señalados en rojo). Éstos, a pesar de ser muy elevados, se han considerado en los análisis ya que pueden corresponder a situaciones de alta actividad fotosintética. Los valores máximos, en torno a  $17\text{--}21 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , se han dado en el Urola (Puente Saburutx y Regata Narrondo). Los picos de oxígeno y concentraciones medias más elevadas se encuentran generalmente en las zonas superiores de los estuarios. Esto se puede apreciar con mucha claridad en el Oria y Urola, donde las estaciones más internas son las que presentan valores por encima de  $14 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . También en el estuario del Oiartzun la concentración más elevada ( $14,20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) se ha observado en la zona más cercana al río, la Cola del Puerto Pasajes.

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 (**Tabla 10**). En el Oiartzun se han llegado a registrar valores mínimos indicadores de anoxia ( $<0,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) en todas las estaciones, salvo en la desembocadura (donde el mínimo histórico es  $1,8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Además, se han registrado valores inferiores a  $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  en el Río Mijoa (Mutriku), en la Regata Añorga y en el Urumea. Por el contrario, en el Bidasoa y en el Oria los mínimos de oxígeno normalmente se sitúan entre 3 y  $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Los mínimos más elevados (entre 4 y  $6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) se observan en las estaciones más exteriores de algunos estuarios (las más influidas por el mar), así como en algunas estaciones muy cercanas a la zona fluvial (como la Regata Narrondo en el Urola).

Hay que señalar que las aguas fluviales generalmente están mejor oxigenadas que las aguas de los estuarios, debido a su turbulencia. Además, los estuarios reciben habitualmente vertidos ricos en materia orgánica y presentan mayor tiempo de residencia, lo que da lugar a mayores tasas de oxidación bacteriana (Franco et al., 1998; Borja et al., 2000). Por otra parte, mientras que el estuario puede presentar grandes oscilaciones en el oxígeno disuelto, en el mar se observa una mayor estabilidad y, generalmente, concentraciones mínimas y medias más altas.

En cuanto a la variabilidad anual, en anteriores informes ya se ha señalado que en la mayoría de los estuarios se alternan picos en invierno, mínimos en verano y concentraciones intermedias en primavera y otoño. Sin embargo, en el Oiartzun el ciclo estacional resulta menos evidente que en otros estuarios. En éste, aunque el verano es la época de menor concentración de oxígeno disuelto, existe poca diferencia entre los valores promedio de invierno, primavera y otoño.

**Tabla 10.** Estadísticos descriptivos relativos al oxígeno disuelto ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en las estaciones que se muestrean actualmente en los estuarios de Gipuzkoa. En rojo se señalan valores  $\geq 14,00$ .

Estuario y periodo	Estación	Localización	N	Máx.	Mín.	Media	Mediana	Desv. est.	Perc. 10	Perc. 90
<b>DEBA (1988-2017)</b>	DEB55400S	Espigón salida al Mar	118	12,50	5,10	8,50	8,38	1,68	6,33	11,04
	DEB54900S	Puente Deba	224	11,93	2,44	8,00	7,90	2,05	5,21	10,80
	DEB54300S	Astilleros Finca Laskibar	221	14,23	2,78	8,08	8,00	2,17	5,24	11,08
	DEB53400S	Caserío Lasao	220	14,03	3,47	8,33	8,40	2,12	5,28	11,16
	DEB52200S	Puente F. E. V. E	221	12,60	1,90	8,04	8,10	2,29	4,79	11,16
	DEB50000S	Puente Sasiola	214	13,03	3,30	9,05	9,17	1,98	6,28	11,49
<b>MUTRIKU (2004-2017)</b>	MIJ04450S	Río Mijoa MUTRIKU	87	11,81	0,90	8,17	8,41	2,47	4,80	11,07
<b>UROLA (1988-2017)</b>	URO58700S	Puerto de Zumaia	228	12,57	2,06	7,92	7,94	1,95	5,43	10,45
	URO57900S	Puente de la N-634	227	12,69	2,60	7,87	7,85	1,99	5,48	10,63
	URO57000S	Puente de F.E.V.E.	209	13,40	2,60	7,83	7,64	2,17	5,02	10,90
	URO55800S	Marismas	225	16,10	2,72	8,42	8,47	2,44	5,35	11,56
	URO55000S	Puente Gorostiaga	228	15,10	2,09	8,61	8,85	2,37	5,23	11,40
	URO54100S	Kondekua	228	14,50	1,34	8,57	8,93	2,48	4,83	11,41
	URO52800S	Puente Saburutx	229	17,00	1,35	8,76	9,28	2,72	4,64	11,67
	NAR07500S	Regata Narrondo	88	21,21	4,90	10,28	10,43	2,84	7,13	13,87
<b>ORIA (1988-2017)</b>	ORI70700S	Espigón salida al Mar	119	13,20	4,90	8,55	8,44	1,58	6,64	10,76
	ORI68700S	Puente Orio	227	13,20	4,18	8,18	7,96	1,85	5,90	10,88
	ORI67200S	Astilleros (Atxega)	229	13,05	4,08	8,10	7,90	2,01	5,58	10,99
	ORI64700S	2º embarcadero	229	14,33	3,46	8,48	8,47	2,14	5,71	11,16
	ORI62400S	1er embarcadero	229	14,38	3,60	8,68	8,74	2,17	5,82	11,17
	ORI60200S	Puente San Esteban	226	14,51	3,43	9,13	9,54	2,17	6,07	11,60
<b>AÑORGA (1992-2017)</b>	ANI04800S	Regata Añorga	151	13,60	0,40	7,53	8,40	2,82	3,37	10,60
<b>URUMEA (1988-2017)</b>	URU41300S	Curva Astigarraga	308	15,70	0,67	9,35	9,70	2,14	6,72	11,62
	URU42300S	Pte.Barrio Pilar	303	14,80	0,39	8,97	9,40	2,38	5,84	11,48
	URU42800S	Pte.Barrio Martutene	302	13,10	0,33	8,87	9,43	2,47	5,34	11,56
	URU44000S	Pte.Barrio Txomin-Enea	305	16,20	0,74	8,70	9,00	2,40	5,40	11,29
	URU44600S	Pte. De los cuarteles	298	15,40	0,89	8,62	8,90	2,35	5,35	11,27
	URU45300S	Pte.Eguía	298	13,20	0,95	8,40	8,89	2,36	5,13	11,17
	URU46600S	Pte.de hierro	298	12,40	1,51	8,31	8,56	2,15	5,32	10,76
	URU48200S	Pte.Maria Cristina	296	12,26	2,10	8,21	8,19	1,93	5,76	10,45
	URU49000S	Pte. Del Kursaal	121	12,43	4,50	8,91	8,85	1,46	7,30	10,97
<b>OIARTZUN (1989-2017)</b>	OIA16700S	Canal salida al mar	139	10,93	1,77	7,19	7,49	1,70	5,03	9,05
	OIA16200S	Dársena Herrera	135	10,32	0,22	4,77	4,80	2,56	0,98	8,19
	OIA15500S	Centro del puerto	140	12,13	0,10	6,44	7,04	2,50	2,49	9,11
	OIA15000S	Salida regata Molinao	141	11,45	0,14	6,56	6,97	2,39	3,46	9,17
	OIA14500S	Dársena de Lezo	143	11,45	0,04	6,25	6,80	2,48	2,04	8,56
	OIA14000S	Cola Puerto Pasajes	139	14,20	0,11	6,12	6,78	2,75	1,17	9,05
<b>BIDASOA (1992-2017)</b>	BID13500S	Cofradía Pescadores	123	11,90	5,60	8,54	8,30	1,50	6,80	10,81
	BID10350S	Puente de Santiago	306	12,36	3,30	8,43	8,60	2,10	5,40	11,27
	BID07600S	Puente de Behobia	306	15,40	2,90	9,29	9,50	1,96	6,70	11,54
	BID04200S	Curva Alunda	305	14,14	3,44	10,30	10,38	1,50	8,50	12,00
	BID00000R	Puente Endarlaza	209	14,00	3,59	10,32	10,29	1,36	8,78	11,95
	END10200R	Salida Regata Endara	208	13,70	3,44	10,46	10,50	1,20	9,14	11,79

### 3.2.2 Tendencias a largo plazo del oxígeno en cada estuario

#### *Oxígeno en el estuario del Deba y en el Río Mijoa*

En la **Figura 21** se muestran los valores mínimos, máximos y medios desde 1988 en el estuario del Deba. A finales de la década del 2000 se aprecia una evolución positiva en los valores medios, y los mínimos se hacen también menos acusados.

En 2017 el estuario ha presentado, al igual que en los últimos años, buenas condiciones de oxigenación, con valores medios cercanos a 9 mg l<sup>-1</sup>. Los mínimos en 2017, aunque en general algo menores a los de años recientes, no han sido acusados (6–7 mg l<sup>-1</sup>), y se han medido en verano y a principios de octubre. Los picos de oxígeno en el estuario han estado en este último año en torno a 11 mg l<sup>-1</sup>, y se han medido, como viene siendo habitual, en invierno.

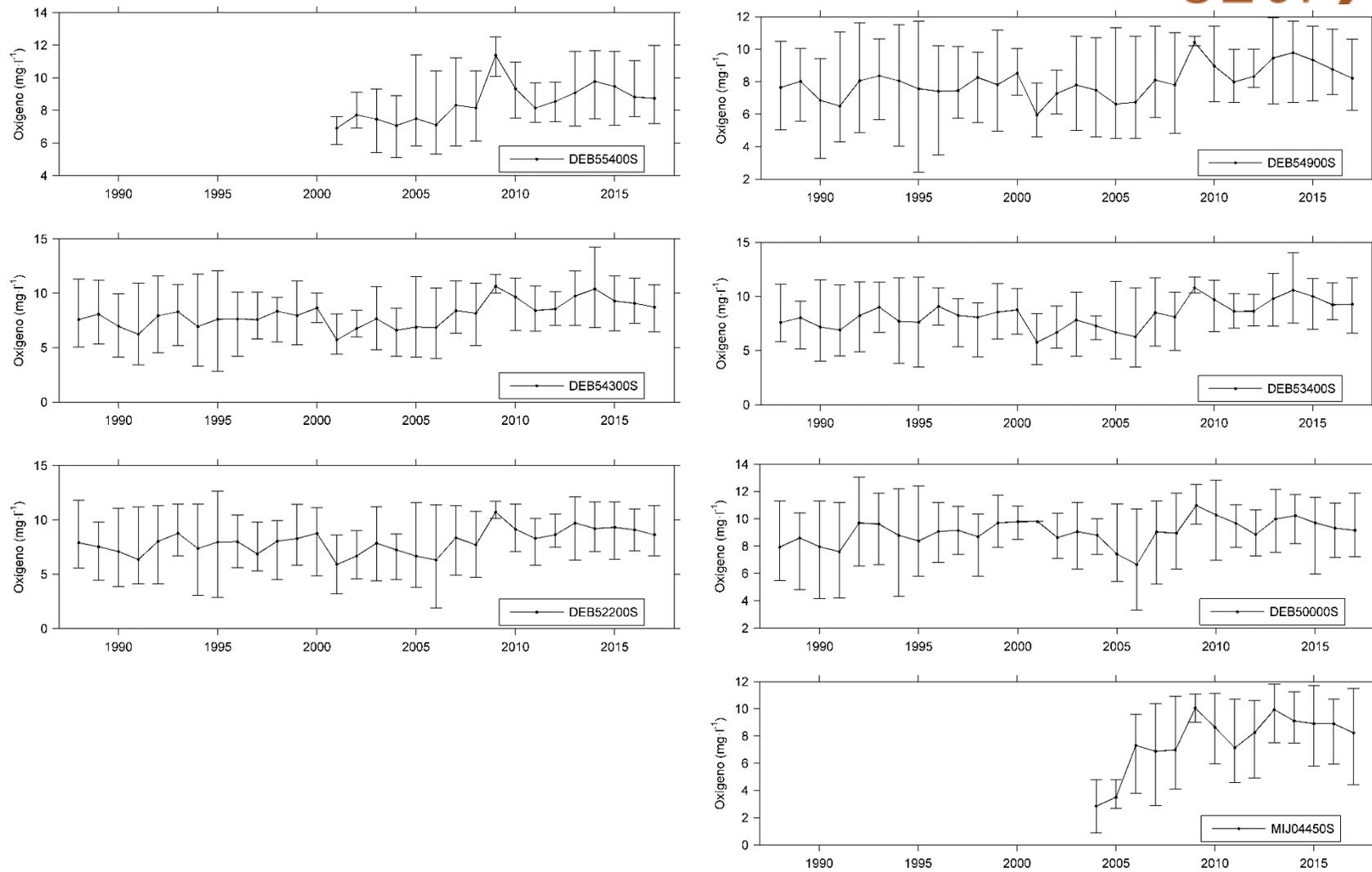
También se muestra la evolución anual del oxígeno en una estación del Río Mijoa (MIJ04450S). El oxígeno en el río presenta una tendencia de aumento desde 2004, aunque con algunas oscilaciones. El valor más bajo (0,9 mg l<sup>-1</sup>) se detectó en primavera de 2004. En 2017 el río ha presentado generalmente buenas condiciones de oxigenación, con valores cercanos o superiores a 7 mg l<sup>-1</sup>. Sin embargo, en 2017 el mínimo estival (4,4 mg l<sup>-1</sup>) ha sido el más bajo medido en este río durante la última década.

#### *Oxígeno en el estuario del Urola*

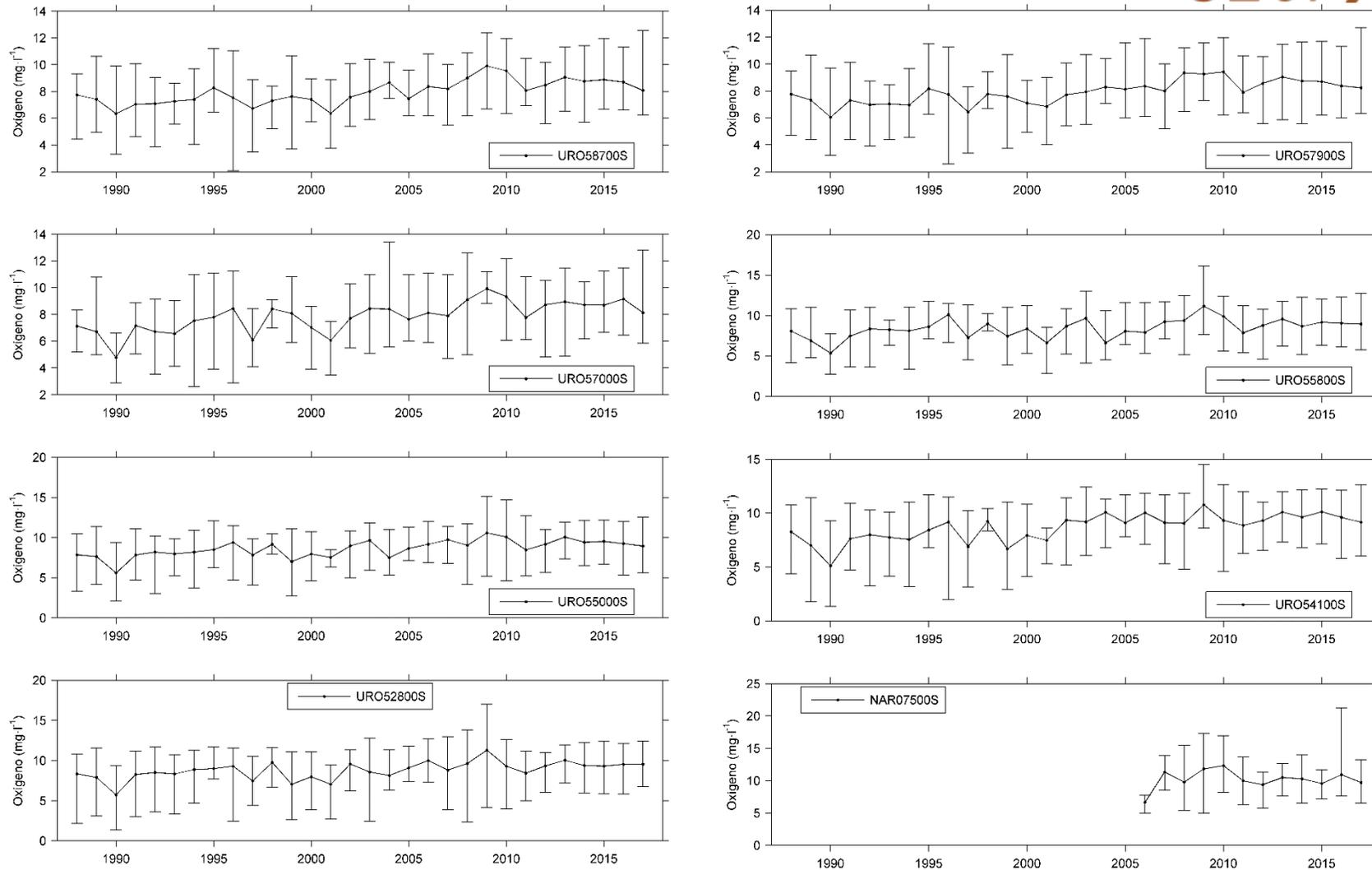
En la **Figura 22** puede observarse que, a largo plazo, la evolución del oxígeno disuelto en el estuario del Urola ha sido positiva, tendiendo a haber mínimos menos acusados en las dos últimas décadas, respecto a los años 80 y 90.

Las condiciones de oxigenación en 2017 han sido muy similares a las de años recientes y se pueden considerar buenas, con valores medios a lo largo del estuario entre 8 y 10 mg l<sup>-1</sup>. Los mínimos, que fueron cercanos o ligeramente inferiores a 6 mg l<sup>-1</sup>, se midieron en primavera (mayo) y en verano. Los máximos (12–13 mg l<sup>-1</sup>) se registraron en invierno y a comienzos de primavera (abril).

En la regata Narrondo (NAR07500S), en una estación similar en salinidad a la zona superior del estuario (véase **Tabla 1**), se comenzó a medir el oxígeno en el año 2006. Aunque en el primer año los valores de oxígeno en esta estación eran algo más bajos, posteriormente ha alcanzado niveles similares a los del estuario; en 2016 hubo un pico muy elevado en abril, posiblemente causado por una floración fitoplanctónica (**Figura 22**). En 2017 la concentración de oxígeno varió en un rango normal, entre un mínimo de 6,5 mg l<sup>-1</sup> en verano y un máximo de 13,2 mg l<sup>-1</sup> a finales de invierno.



**Figura 21.** Evolución temporal de las concentraciones medias de oxígeno disuelto en las estaciones del Deba. Las medias son anuales, calculadas con todos los datos tomados en cada estación cada año. Se presentan también, con barras verticales, los intervalos de las concentraciones medidas.



**Figura 22.** Evolución temporal de las concentraciones medias de oxígeno disuelto en las estaciones del Urola. Las medias son anuales, calculadas con todos los datos tomados en cada estación cada año. Se presentan también, con barras verticales, los intervalos de las concentraciones medidas.

### *Oxígeno en el estuario del Oria y la Regata Añorga*

El estuario del Oria muestra oscilaciones a lo largo de la serie temporal, aunque en general desde 2009 se mantiene en buenas condiciones de oxigenación (**Figura 23**). En 2017 las concentraciones oscilan entre aproximadamente 7 y 12 mg l<sup>-1</sup>, con un valor medio para todo el estuario cercano a 9 mg l<sup>-1</sup>. En 2017 los valores más bajos se han medido en verano y otoño (octubre), en las zonas media e inferior del estuario. Los máximos se han medido en invierno y primavera (abril).

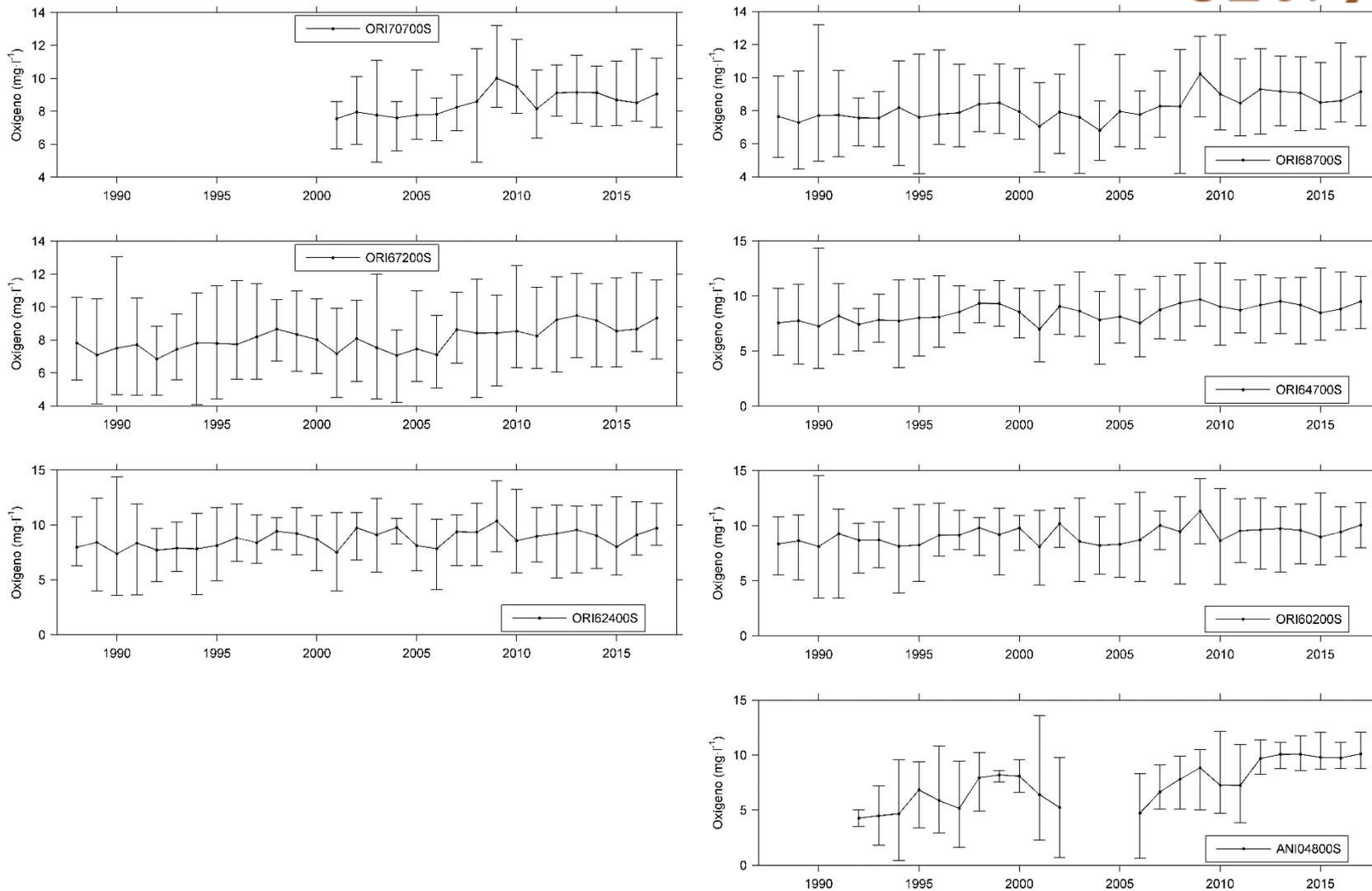
En cuanto a la Regata Añorga (ANI04800S / ANI05400S), a largo plazo, el oxígeno ha presentado una gran mejoría (**Figura 23**). Durante la década de los 90 y hasta mediados de la del 2000 se detectaban algunos valores entre 0 y 2 mg l<sup>-1</sup>. A partir del año 2007 el oxígeno supera siempre 3 mg l<sup>-1</sup>, y en los últimos cinco años no se han observado valores por debajo de 8 mg l<sup>-1</sup>. En 2017 la concentración media de oxígeno ha sido cercana a 10 mg l<sup>-1</sup>.

### *Oxígeno en el estuario del Urumea*

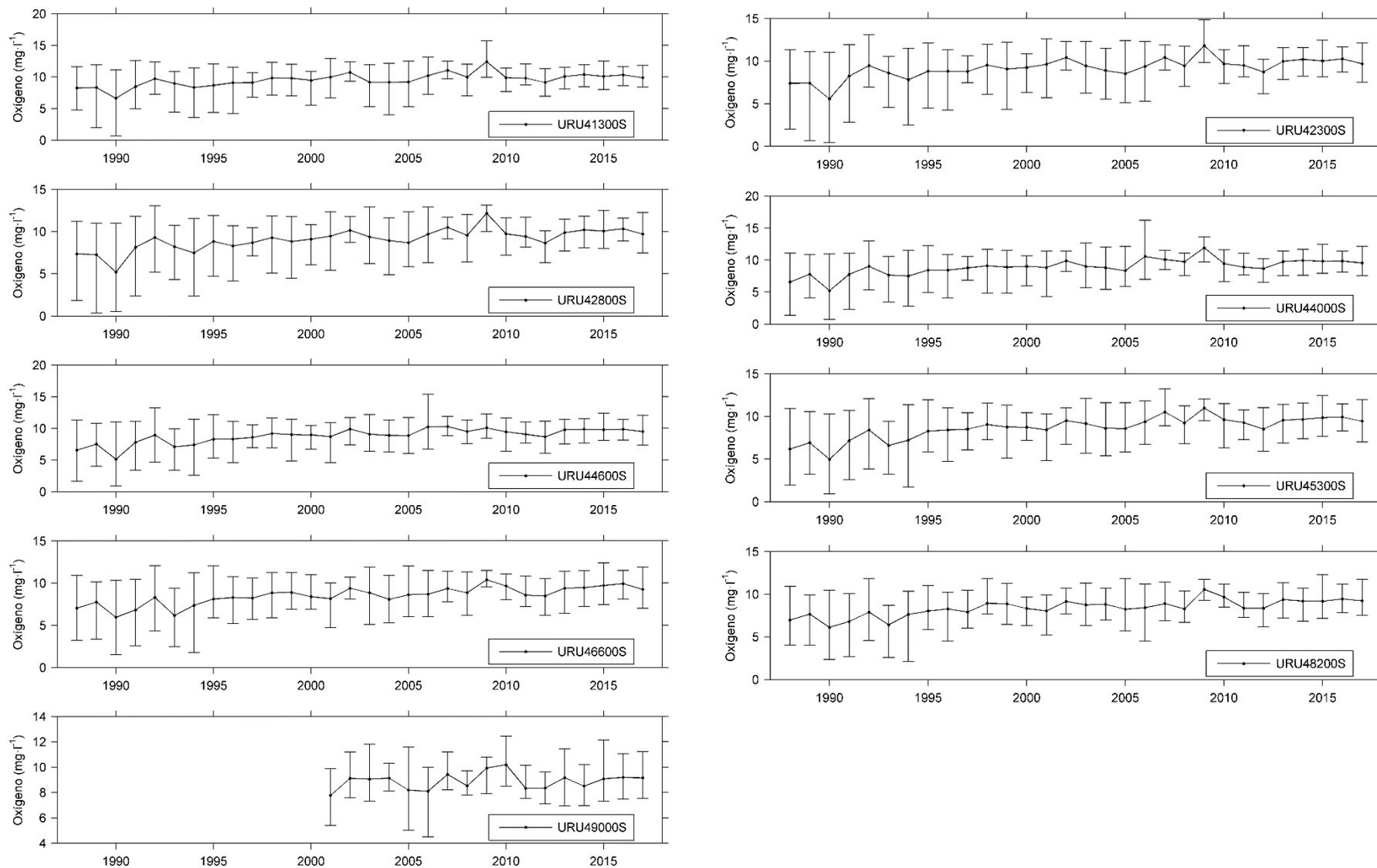
En este estuario se observa a largo plazo un incremento notable de los valores mínimos (**Figura 24**). En la zona superior se registraban concentraciones inferiores a 1 mg l<sup>-1</sup> a finales de los 80, en el tramo comprendido entre el Puente Ergobia (URU40200S) y el Puente de los Cuarteles (URU44600S). Dicha zona comienza a recuperarse a partir de 1991, y unos años después las condiciones de oxigenación también mejoran en la zona media, desde el Puente de Eguía (URU45300S) hasta el Puente de María Cristina (URU48200S). En 1995 los valores mínimos, que antes estaban comprendidos entre 1 y 2 mg l<sup>-1</sup>, pasan a estar entre 4 y 5 mg l<sup>-1</sup>. A partir de 2007, a lo largo de todo el estuario, los valores mínimos rara vez descienden por debajo de 6 mg l<sup>-1</sup>.

En el año 2017 las condiciones de oxigenación han sido buenas a lo largo de todo el estuario. El valor medio ha sido cercano a 10 mg l<sup>-1</sup>. El mínimo (7,0 mg l<sup>-1</sup>) se ha medido en verano y los valores más elevados (11–12 mg l<sup>-1</sup>) entre diciembre y marzo. La variabilidad espacial ha sido muy escasa, predominando los factores estacionales, que en todo caso no han dado lugar a cambios de mucha magnitud.

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.



**Figura 23.** Evolución temporal de las concentraciones medias de oxígeno disuelto en las estaciones del Oria y en la Regata Añorga. Las medias son anuales, calculadas con todos los datos tomados en cada estación cada año. Se presentan también, con barras verticales, los intervalos de las concentraciones medidas.



**Figura 24.** Evolución temporal de las concentraciones medias de oxígeno disuelto en las estaciones del Urumea. Las medias son anuales, calculadas con todos los datos tomados en cada estación cada año. Se presentan también, con barras verticales, los intervalos de las concentraciones medidas.

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 24**).

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 dicho año los mínimos estivales están entre los más altos de la serie, cercanos a  $7 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .

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.

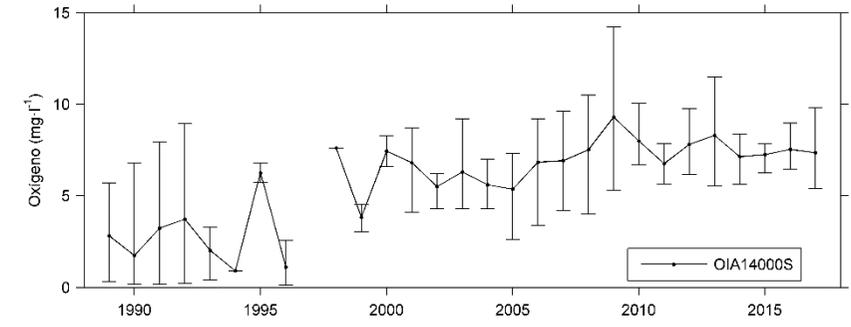
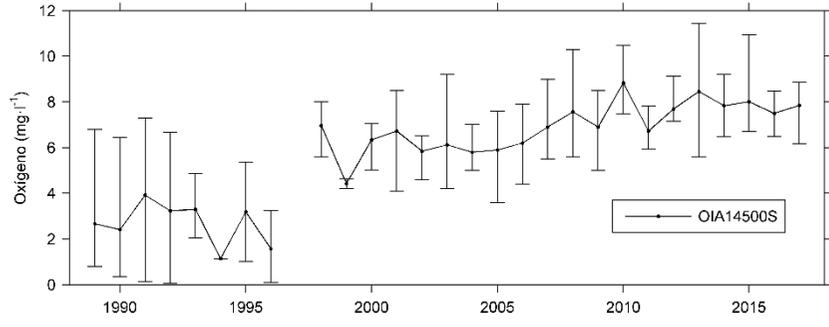
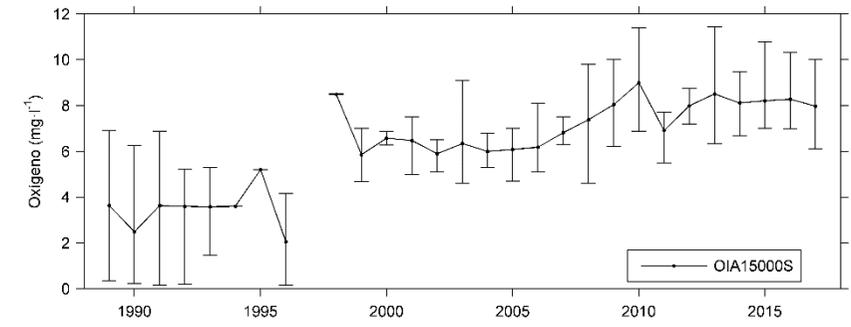
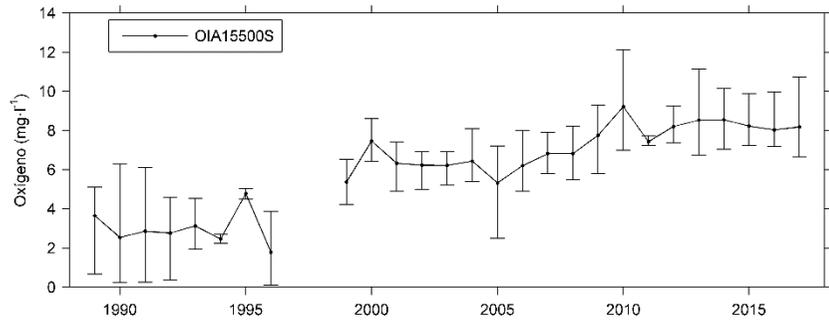
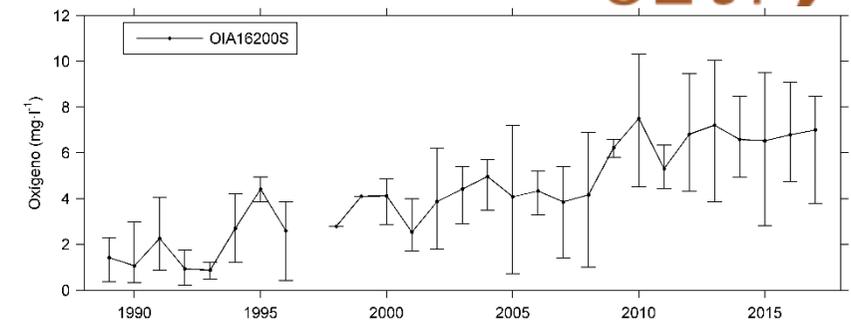
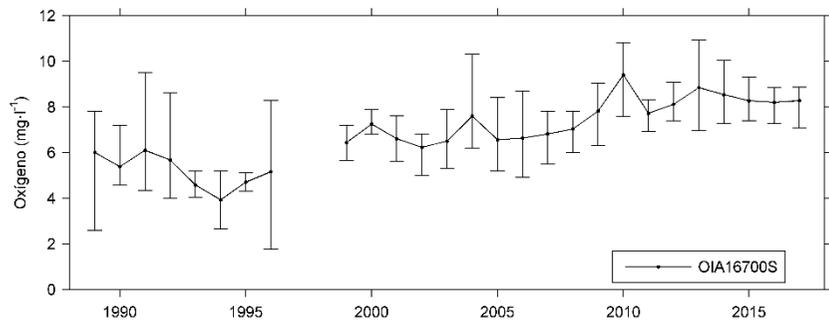
En conclusión, los cambios registrados en el estuario del Urumea vienen determinados tanto por factores naturales (hidrometeorológicos), como antrópicos (actuaciones de saneamiento). Hay que destacar el aumento observado de forma generalizada en el estuario para los valores medios y mínimos, debidos 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).

### *Oxígeno en el estuario del Oiartzun*

En la serie temporal, que abarca desde 1988, se pueden apreciar mejorías en las condiciones de oxigenación a lo largo de todo el estuario (**Figura 25**).

Hay una diferencia notable entre antes y después del desvío de los vertidos a cala Murgita en verano de 1996. Como puede verse, los valores más bajos de concentración de oxígeno disuelto ( $<2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) fueron registrados antes de esa fecha en la estación de La Herrera (OIA16200S). Después del desvío de los vertidos a la costa, la concentración media anual siguió una tendencia creciente en todo el estuario. Además, desde finales de los años 90 ya no se han observado valores mínimos tan bajos como los que se medían en el periodo previo.

A finales de la década del 2000 se observa una segunda mejoría en las condiciones de oxigenación, que desde entonces se mantienen bastante estables. Como excepción hay que indicar que en la dársena de La Herrera se dan descensos acusados de manera recurrente en verano. Aunque estos mínimos no suelen ser inferiores a  $4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , en agosto de 2015 se midieron  $2,8 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .



**Figura 25.** Evolución temporal de las concentraciones medias de oxígeno disuelto en las estaciones del Oiartzun. Las medias son anuales, calculadas con todos los datos tomados en cada estación cada año. Se presentan también, con barras verticales, los intervalos de las concentraciones medidas.

En el año 2017 el oxígeno en el estuario del Oiartzun se ha mantenido en valores muy similares a los que se observan desde 2010, con un valor medio para el conjunto de los datos de  $7,8 \text{ mg l}^{-1}$ . Como ya se ha visto en años anteriores, también en 2017 los valores mínimos han presentado un gradiente espacial, de ligero aumento, entre la zona interior (OIA14000S) con  $5\text{--}6 \text{ mg l}^{-1}$ , y la zona exterior (OIA16700S) con  $\sim 7 \text{ mg l}^{-1}$ . Sin embargo, la estación de la dársena de La Herrera (OIA16200S), situada en una zona abrigada de la zona exterior, sigue teniendo las concentraciones de oxígeno más bajas. Así, su valor mínimo en 2017 ha sido  $3,8 \text{ mg l}^{-1}$  (medido en septiembre).

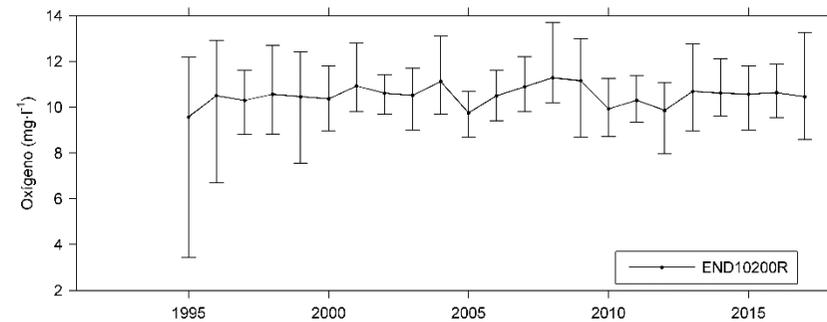
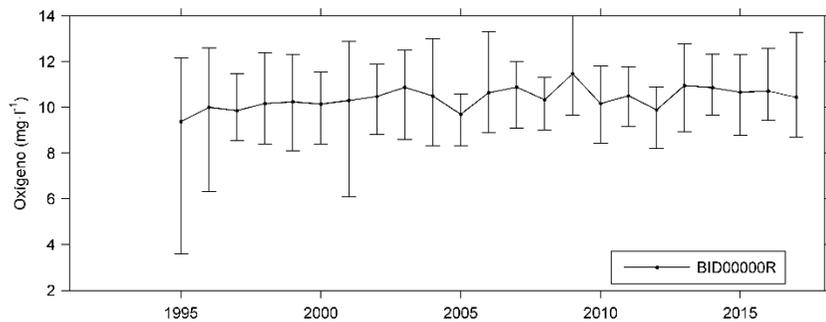
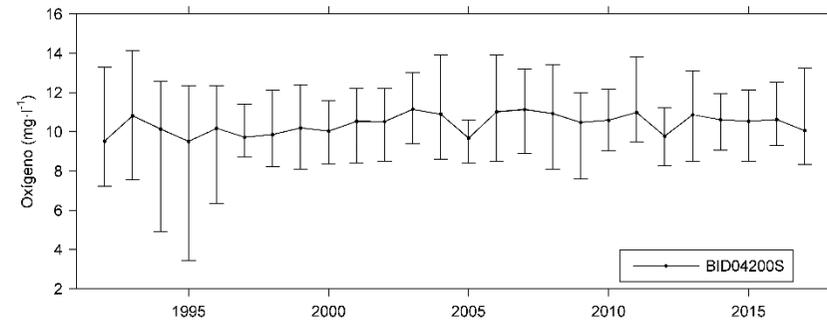
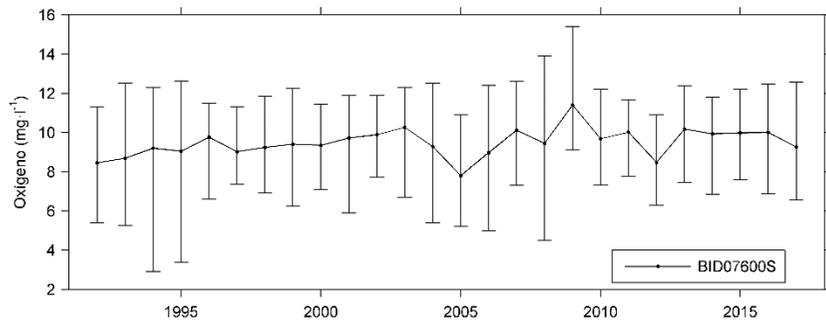
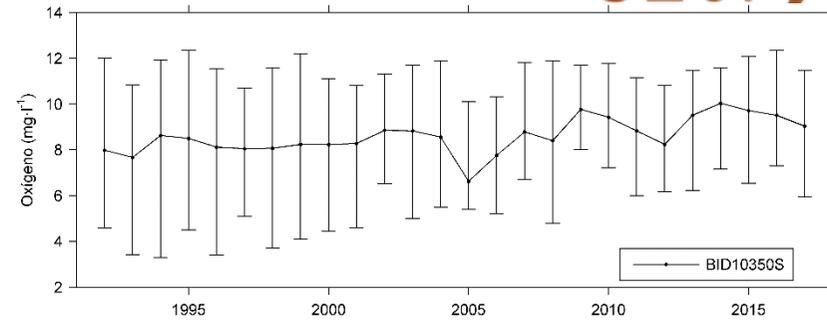
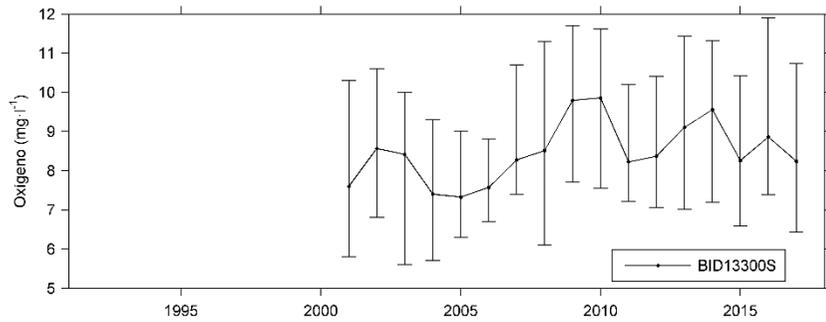
### *Oxígeno en el estuario del Bidasoa*

En el Bidasoa es muy notable el aumento registrado en los valores mínimos de oxígeno a finales de la década de los 90 (**Figura 26**). Así, en los años previos se observaban mínimos de hasta  $3 \text{ mg l}^{-1}$ , de manera esporádica. A partir del año 2000 no se observan ya nunca valores por debajo de  $4,5 \text{ mg l}^{-1}$ .

También pueden detectarse tendencias a largo plazo en los valores medios anuales. Después de cierto descenso en torno a los años 2004–2005, la media anual tiende a aumentar en diferentes zonas del estuario: en la estación más exterior (BID13500S, Cofradía de Pescadores), en la zona media (BID10350S, Puente de Santiago, Irún) y en la superior (BID07600S, Puente de Behobia). Entre los años 2010 y 2012 se observó otro leve descenso en los valores medios a lo largo del estuario, pero posteriormente el oxígeno repuntó.

En el año 2017 las condiciones de oxigenación siguen siendo buenas, con un valor medio de  $10 \text{ mg l}^{-1}$ , considerando todas las medidas realizadas en el estuario. Los valores más bajos (cerca de  $6 \text{ mg l}^{-1}$ ) se han observado en verano en las zonas exterior y media: en las estaciones BID13300S (Cofradía de Pescadores), BID10350S (Puente de Santiago, Irún) y BID07600S (Puente de Behobia). Los máximos han sido moderados, alcanzando valores de  $11\text{--}13 \text{ mg l}^{-1}$  en invierno y a comienzos de primavera.

La Regata Endara (END10200R) confluye con el estuario en la zona superior de éste y presenta una tendencia y rango de variación muy similar a la de las estaciones de la dicha zona (BID00000R y BID04200S). De la misma forma, sus condiciones de oxigenación en 2017 han sido buenas ( $9\text{--}13 \text{ mg l}^{-1}$ ).



**Figura 26.** Evolución temporal de las concentraciones medias de oxígeno disuelto en las estaciones del Bidasoa. Las medias son anuales, calculadas con todos los datos tomados en cada estación cada año. Se presentan también, con barras verticales, los intervalos de las concentraciones medidas.

### *Resumen de las tendencias observadas en el oxígeno*

Aunque aún pueden detectarse bajas concentraciones de oxígeno en algún punto de muestreo, durante los últimos años se observa una mejoría generalizada en las condiciones de oxigenación de los estuarios lo cual pone de manifiesto las actuaciones de saneamiento realizadas.

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  $5 \text{ mg l}^{-1}$ . En el Río Mijoa se produjo un aumento general de los valores mínimos a partir del año 2009. En este río las concentraciones ya no descienden por debajo de  $4 \text{ mg l}^{-1}$ .

En el estuario del Urola también desde finales de la década del 2000 se observan mejores condiciones de oxigenación. En los años 80 la zona superior del estuario era la que presentaba descensos más acusados en el oxígeno, incluso por debajo de  $2 \text{ mg l}^{-1}$ . La mejoría desde entonces ha sido progresiva a lo largo de todo el estuario. En los últimos años los mínimos se mantienen en valores cercanos a  $5 \text{ mg l}^{-1}$ , tanto en el estuario como en la Regata Narrondo.

En el estuario del Oria también se aprecia una tendencia de mejoría. Esta es más evidente en la zona media- exterior, es decir, en el entorno de la población de Orio, donde los mínimos son menos acusados desde finales de la década del 2000.

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  $8 \text{ mg l}^{-1}$ .

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 ha sido debido fundamentalmente al aumento de los valores mínimos.

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. Hay que indicar, no obstante, que la zona de la Dársena de La Herrera aún presenta de manera esporádica problemas con el oxígeno.

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. No obstante, es difícil establecer un patrón común para todos los estuarios.



### 3.3 Concentraciones de amonio y fosfato

#### 3.3.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal

En un informe anterior se analizó la variabilidad espacial y la tendencia a lo largo de las dos últimas décadas 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 (2017) 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 que tengan 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  $\mu\text{M}$ . En la mayor parte de las muestras los valores están por debajo de 100  $\mu\text{M}$ . 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  $10^3$   $\mu\text{M}$ . En esta estación hay pocos datos de amonio (sólo figuran entre 1989 y 2000, y posteriormente entre 2012 y 2016), 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  $\sim 600 \mu\text{M}$ ) y en la Regata Añorga (hasta  $\sim 900 \mu\text{M}$ ). 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  $200 \mu\text{M}$ . El Bidasoa es el estuario que mantiene las concentraciones más bajas de amonio, generalmente inferiores a  $50 \mu\text{M}$ .

En cuanto al fosfato, el rango de variación para los seis estuarios de Gipuzkoa y en la serie histórica completa es  $0,1\text{--}55 \mu\text{M}$ . Se han medido máximos de entre  $20$  y  $60 \mu\text{M}$  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  $10 \mu\text{M}$ . 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 el año 2017

Como puede verse en la **Tabla 11**, durante el año 2017 los valores medios de amonio y fosfato cumplen el objetivo de calidad (estado *Muy bueno* o *Bueno*) en las zonas muestreadas de los seis estuarios principales de Gipuzkoa. 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.

En 2017 no se alcanza el objetivo para el amonio en el Río Mijoa (un pequeño río que desemboca en la playa de Saturraran), situación que se viene observando desde hace años en este río.

En cuanto al fosfato, los máximos medidos en 2017, en su mayoría, están muy por debajo de la concentración que indica mal estado en aguas oligohalinas ( $<14 \mu\text{M}$ ), aunque en el Deba uno de los valores se sitúa cercano, con  $12,52 \mu\text{M}$  (**Tabla 11**). Una de las muestras tomadas en mayo de 2017 en el Urola (Estación 6, Kondekua) presentó un valor muy anómalo de fosfato ( $69 \mu\text{M}$ ), que

no se ha tenido en cuenta, siguiendo los criterios establecidos para la eliminación de datos dudosos (véase Metodología, **Tabla 4**).

En años recientes se detectaron picos de fosfato de similar o mayor magnitud, aunque estas situaciones se pueden considerar en general poco frecuentes. En 2015 se observó un máximo de fosfato de  $\sim 13 \mu\text{M}$  en el estuario Urumea, en junio, que podría haberse debido a las obras efectuadas en el Barrio de Martutene para la defensa contra inundaciones. En 2013 y 2014, se observaron valores en un rango de  $13\text{--}24 \mu\text{M}$  en la cabecera del estuario del Deba, en el estuario del Oria y en el Río Mijoa.

**Tabla 11.** Parámetros estadísticos básicos relativos a la concentración de amonio ( $\text{NH}_4$ ) y fosfato ( $\text{PO}_4$ ) en 2017. Para los valores medios: 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):  $63 \mu\text{M}$  amonio y  $14 \mu\text{M}$  fosfato.

	$\text{NH}_4$ ( $\mu\text{M}$ )					$\text{PO}_4$ ( $\mu\text{M}$ )				
	Nº Datos	Mín.	Máx.	Promedio	Desv. Est.	Nº Datos	Mín.	Máx.	Promedio	Desv. Est.
<b>Deba</b>	22	1,4	21,1	6,3	5,6	23	0,95	12,53	3,79	2,87
<b>Mutriku</b>	8	6,1	76,7	32,9	25,1	8	0,84	4,84	2,45	1,38
<b>Urola</b>	21	1,4	12,8	3,7	3,5	20	0,63	8,95	3,36	2,55
<b>Oria</b>	22	1,4	33,3	5,3	6,8	22	0,84	5,26	1,68	1,04
<b>Añorga</b>	8	1,4	4,4	2,6	1,3	8	0,74	2,32	1,24	0,51
<b>Urumea</b>	44	1,4	6,1	2,3	1,4	44	0,26	9,79	0,89	1,72
<b>Oiartzun</b>	13	1,4	31,1	6,6	8,2	13	0,74	8,74	1,91	2,10
<b>Bidasoa</b>	28	1,4	1,4	1,4	0,0	28	0,26	6,42	0,98	1,31
<b>TOTAL</b>	<b>166</b>	<b>1,4</b>	<b>76,7</b>	<b>5,1</b>	<b>9,3</b>	<b>166</b>	<b>0,26</b>	<b>12,53</b>	<b>1,88</b>	<b>2,16</b>

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 (1994–2010), como puede verse comparando las concentraciones de 2017 con las de la **Tabla 4** del apartado de Metodología. Así, dos décadas antes se llegaban a medir máximos de amonio entre  $600$  y  $800 \mu\text{M}$  y el fosfato alcanzaba hasta  $42 \mu\text{M}$ .

En un estudio previo realizado con las series temporales completas (más de 20 años de medidas) se seleccionaron por cada estuario dos estaciones, situadas en la zona superior de los estuarios (véase Revilla et al. 2011b). Se eligieron dichas estaciones porque eran las que presentaban el mayor número de medidas y, por lo tanto, eran las más apropiadas para aplicar el tratamiento estadístico que requería el estudio de la variabilidad temporal.

A continuación, se resumen los resultados del análisis anterior, sobre tendencias a largo plazo y cambios bruscos en la concentración de amonio y fosfato a lo largo de las dos últimas décadas. En este contexto se discutirán los resultados del año 2017.

### *Nutrientes en el estuario del Deba*

En el Deba (estaciones 4 y 5), la disminución en los valores máximos y medios de amonio y fosfato a finales de los 90 fue muy notable, lo que indicó una mejoría sustancial de la calidad del agua (Revilla et al. 2011b).

En cuanto al año 2017, la concentración media de amonio en esa zona del estuario es inferior a 7  $\mu\text{M}$  y la de fosfato no supera 4  $\mu\text{M}$ . Estos valores son similares a las medias observadas en los últimos años y se sitúan por debajo de las medias observadas en la década del 2000. Aunque en la zona superior del estuario se observan todavía concentraciones de fosfato que no alcanzan los objetivos de calidad establecidos para aguas oligohalinas, dichos picos son esporádicos y, por tanto, los valores medios anuales indican *Buen* estado en base a los criterios de la **Tabla 6** (Metodología).

Además, si se evalúan también otros elementos a largo plazo (mejoría del oxígeno y descenso significativo de la clorofila en la cabecera), el riesgo de eutrofización en el estuario del Deba se considera bajo, al igual que en estudios anteriores (Revilla et al., 2011c).

### *Nutrientes en el estuario del Urola*

En el Urola (estaciones 6 y 7) se observó cierto descenso en los valores medios de amonio y fosfato a finales de los años 90 (Revilla et al. 2011b).

En cuanto al año 2017, la concentración media de amonio en dichas estaciones es inferior a 5  $\mu\text{M}$  y la de fosfato está en torno a 3–4  $\mu\text{M}$ . Estos valores están en la media de los últimos años y cumplen con los objetivos de calidad tanto para aguas oligohalinas, como mesohalinas (véase **Tabla 6**, Metodología). Como en años previos, en 2017 se observan algunos picos de fosfato relativamente altos (cerca de 9  $\mu\text{M}$ ) en la zona superior del estuario que podrían indicar vertidos esporádicos de aguas deficientemente tratadas en esta zona (entre Puente Saburutx y Puente Gorostiaga).

La clorofila en la zona oligohalina (estación 5) ha mostrado en los años recientes (entre 2014 y 2016) valores moderados y altos, lo que indica un exceso de biomasa fitoplanctónica en esta zona (véase **Figura 16**). Este exceso, sin embargo, se ha limitado a la zona de cabecera del estuario y, además, no se han observado problemas de déficit de oxígeno. Por ello, el riesgo de eutrofización

en el conjunto del estuario del Urola se puede considerar que es bajo, al igual que en estudios previos (Revilla et al., 2011c). En el presente informe se ha estudiado la variabilidad a largo plazo de la precipitación y el caudal fluvial, y se ha encontrado que las primaveras relativamente secas de los últimos años pueden haber favorecido dichas acumulaciones de fitoplancton en la zona superior del estuario (véase apartado siguiente). Aunque, sería recomendable realizar un análisis de la variabilidad a largo plazo de los nutrientes (en la línea del realizado en 2011), para comprobar que el empeoramiento de la clorofila no se debe a un aumento de los aportes antrópicos de nitrógeno y fósforo.

### *Nutrientes en el estuario del Oria*

En la estación 5 (Puente de San Esteban) se detectó una brusca disminución del valor medio del amonio en 1995, pasando de unos 50  $\mu\text{M}$  a 25  $\mu\text{M}$ . El fosfato también manifestó un descenso, en años posteriores, pasando el valor medio de unos 4  $\mu\text{M}$  a 3  $\mu\text{M}$ .

En la estación situada aguas abajo (Estación 4, embarcadero de Aguinaga), el amonio presentó una tendencia de descenso más leve (de unos 25  $\mu\text{M}$  a 20  $\mu\text{M}$ ) y el fosfato se mantuvo constante a lo largo de los últimos 20 años, con valores cercanos a 2  $\mu\text{M}$  (Revilla et al. 2011b).

En cuanto al año 2017, la concentración media de amonio en dichas estaciones está entre 4 y 7  $\mu\text{M}$  y la de fosfato es cercana a 2  $\mu\text{M}$ . Por lo tanto, estos valores son muy similares a los medidos en 2016 y algo inferiores a la media de los últimos años. Esto puede deberse a que en abril de 2016 se puso en marcha el sistema de bombeo de las aguas residuales de Lasarte y Usurbil; de esta manera ya no vierten directamente al estuario, sino que son desviadas al colector del Urumea y tratadas posteriormente en la EDAR de Loiola. Si se aplican los criterios de la **Tabla 6** (Metodología) a los valores medios anuales, el estuario del Oria presenta en 2017 un estado fisicoquímico *Muy bueno*. En 2017 sólo se detectó un valor que no cumplió con el objetivo de calidad para el amonio (en la estación 4, zona superior del estuario, 33,3  $\mu\text{M}$ ) y un valor relativamente alto de fosfato (en la estación 1, zona inferior del estuario, 5,26  $\mu\text{M}$ ). Por tanto, dichas medidas de saneamiento parecen haber dado lugar a una mejor calidad fisicoquímica.

La concentración de clorofila en la zona de cabecera (estación 4) presenta valores en los últimos años muy altos, como se indica en este mismo informe (véase **Figura 17**). En el Oria, los vertidos a la cuenca y al estuario se han ido reduciendo en los últimos años, al entrar en funcionamiento diversas depuradoras. Sin embargo, debido al gran tamaño de la cuenca y al elevado caudal del río con relación al volumen del estuario, puede resultar menos evidente que en otros casos la depuración o reducción de los vertidos urbanos. En todo caso, la clorofila ha seguido una tendencia decreciente y, aunque hasta hace una década las zonas media e inferior del estuario

también tenían un exceso de biomasa, actualmente no presentan este problema en la época más propicia para el crecimiento fitoplanctónico (entre primavera y otoño). Además, hay que tener en cuenta que las condiciones de oxigenación son buenas en los últimos años.

### *Nutrientes en el estuario del Urumea*

En una estación situada en aguas fluviales (estación 3), así como en la zona superior del estuario (estación 6) se pudo apreciar un brusco descenso en la concentración media del amonio a finales de los años 90 (de valores cercanos a 30  $\mu\text{M}$ , a unos 5  $\mu\text{M}$ ). En cuanto al fosfato, únicamente se observó una disminución en la estación estuárica (de valores cercanos a 2  $\mu\text{M}$ , a valores en torno a 1  $\mu\text{M}$ ) (Revilla et al. 2011b).

En el año 2017, la concentración media de amonio en dichas estaciones es inferior a 3  $\mu\text{M}$ , mientras que la de fosfato es inferior o cercana a 1  $\mu\text{M}$ . Estos valores están en la media de los últimos años e indican un estado fisicoquímico *Muy bueno* en la cabecera del estuario, en base a los criterios de la **Tabla 6** (Metodología).

Evalutando además el oxígeno y la clorofila, el riesgo de eutrofización en el Urumea en general se considera bajo, tal y como se señala en este informe y en trabajos previos (Revilla et al., 2011c), aunque de manera esporádica pueda detectarse algún pico de clorofila de elevada magnitud, como el de junio de 2016 ( $\sim 180 \mu\text{g l}^{-1}$ ).

### *Nutrientes en el estuario del Oiartzun*

Los análisis de tendencias aplicados a las estaciones fluviales OIA12200 (Puente de Rentería) y OIA13000 (Puente de Lezo) indicaron que a finales de los años 90 tuvieron lugar fuertes descensos en los valores medios de amonio y fosfato (Revilla et al. 2011b). El descenso fue especialmente notable para el amonio (pasando de valores en torno a 60–70  $\mu\text{M}$ , a unos 5–10  $\mu\text{M}$ ).

La concentración media del fosfato en la década de los 90 era cercana a 6  $\mu\text{M}$ , mientras que en la década del 2000 se encuentra en 1  $\mu\text{M}$  (Puente de Rentería) y 2  $\mu\text{M}$  (Puente de Lezo).

Dichos cambios implican una gran mejoría en la calidad fisicoquímica de las aguas que recibe el estuario del Oiartzun por el río. Además, pone de manifiesto el efecto del saneamiento efectuado en esos años, ya que es a finales de los 90 cuando se desvían la mayor parte de los vertidos a la costa, en Cala Murgita (Revilla et al. 2011b).

En cuanto al año 2017, la concentración media de amonio en dichas estaciones fluviales no supera 5  $\mu\text{M}$ , mientras que la de fosfato es inferior a 1,5  $\mu\text{M}$ . Estos valores están en la media de los últimos años e indican un estado fisicoquímico *Muy bueno* en las aguas fluviales que recibe el

estuario, en base a los criterios de la **Tabla 6** (Metodología). Por otra parte, las muestras tomadas en la Regata Molinao en 2017 presentan valores más elevados (en promedio, amonio  $\sim 17 \mu\text{M}$  y fosfato  $\sim 4 \mu\text{M}$ ). En otro estudio llevado a cabo para la Diputación, las concentraciones obtenidas en aguas de mayor salinidad indican que, en ocasiones, este estuario recibe altos aportes de nutrientes (Muxika et al. 2017). Además, como ya se ha indicado, la clorofila indica que la biomasa fitoplanctónica es elevada en la zona media y en la dársena de La Herrera (véase **Figura 19 B, D**), y en verano se dan en dicha dársena concentraciones de oxígeno de  $3\text{--}4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , que se consideran bajas para aguas de superficie (véase **Figura 25**, estación OIA16200S).

Por tanto, el riesgo de eutrofización del estuario del Oiartzun es alto, debido a los vertidos que aún se producen y a los problemas que presentan la clorofila y el oxígeno en las zonas de baja renovación, como es el caso de la dársena de La Herrera. Esto también ha sido señalado en otros estudios (Revilla et al., 2011c).

### *Nutrientes en el estuario del Bidasoa*

El estudio de tendencias en las estaciones 3 y 4 (zona superior) indicó que el amonio descendió ligeramente a comienzos de la década del 2000, pasando de valores medios cercanos a  $4 \mu\text{M}$ , a valores en torno a  $3 \mu\text{M}$ . En cuanto al fosfato, éste no parece haber variado durante los últimos 20 años, estando en torno a  $1 \mu\text{M}$  (Revilla et al. 2011b).

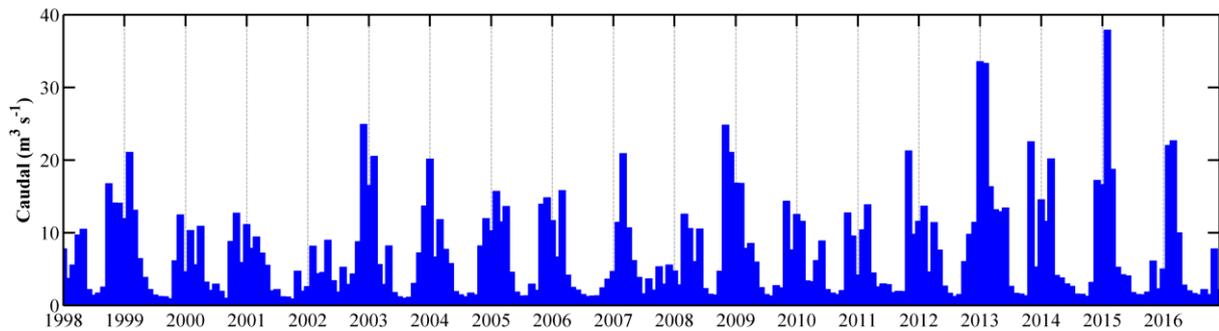
En el año 2017 la concentración media de amonio en dichas estaciones es inferior a  $2 \mu\text{M}$ , mientras que la de fosfato es inferior a  $1 \mu\text{M}$ . Estas condiciones son típicas de aguas en estado fisicoquímico *Muy bueno* (**Tabla 6**). Aunque el índice de clorofila indica riesgo de exceso de biomasa en los últimos tres años, las condiciones de oxigenación son muy buenas en el estuario (véanse **Figura 20** y **Figura 26**).

En un estudio previo (Revilla et al., 2011c) el riesgo de eutrofización del estuario del Bidasoa se había clasificado como medio, debido a que el tiempo de residencia del agua es relativamente alto y porque aún podrían producirse vertidos en la zona inferior.

## **3.4 Variables meteorológicas e hidrográficas**

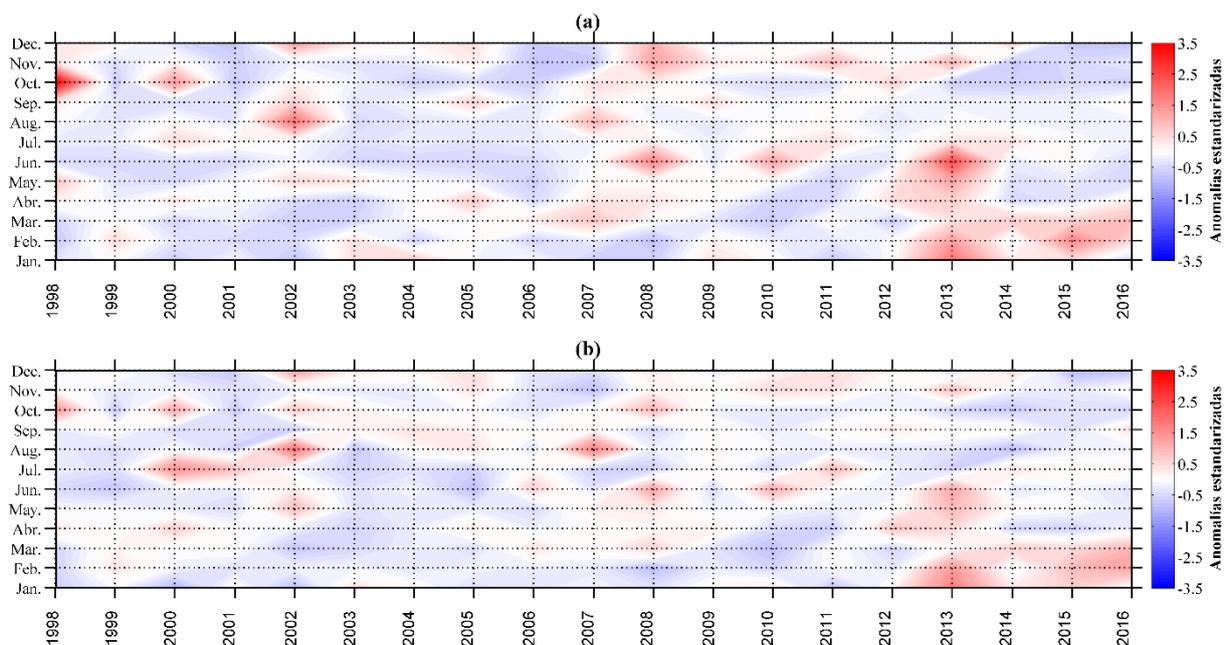
### **3.4.1 Anomalías del régimen fluvial y pluvial del Urola relativas al periodo 1998-2016**

Los datos de caudal registrados en la estación de Aizarnazabal se muestran en la **Figura 27**. A partir de estos se han calculado las anomalías como la desviación respecto al ciclo estacional promedio.



**Figura 27.** Evolución temporal de los datos de caudal en la estación de aforo y de calidad de aguas de Aizarnazabal durante el periodo 1998-2016.

La **Figura 28A** muestra, entre 1998 y 2016, anomalías tanto positivas como negativas (que indican valores de caudal por encima y por debajo de la media, respectivamente). Si bien el máximo se produce al inicio de la serie (octubre 1998), a partir de la segunda mitad del registro (2007) las anomalías positivas se hacen más recurrentes, especialmente durante 2013, cuando el caudal fue muy alto entre enero y julio, así como en noviembre. Después de un 2013 muy anómalo, el periodo 2014–2016 se caracterizó por presentar anomalías positivas únicamente durante la estación invernal, mientras que durante la primavera y el otoño se produjeron anomalías negativas. Durante el verano, en los últimos años los valores de caudal se mantuvieron en el rango habitual para la época estival.

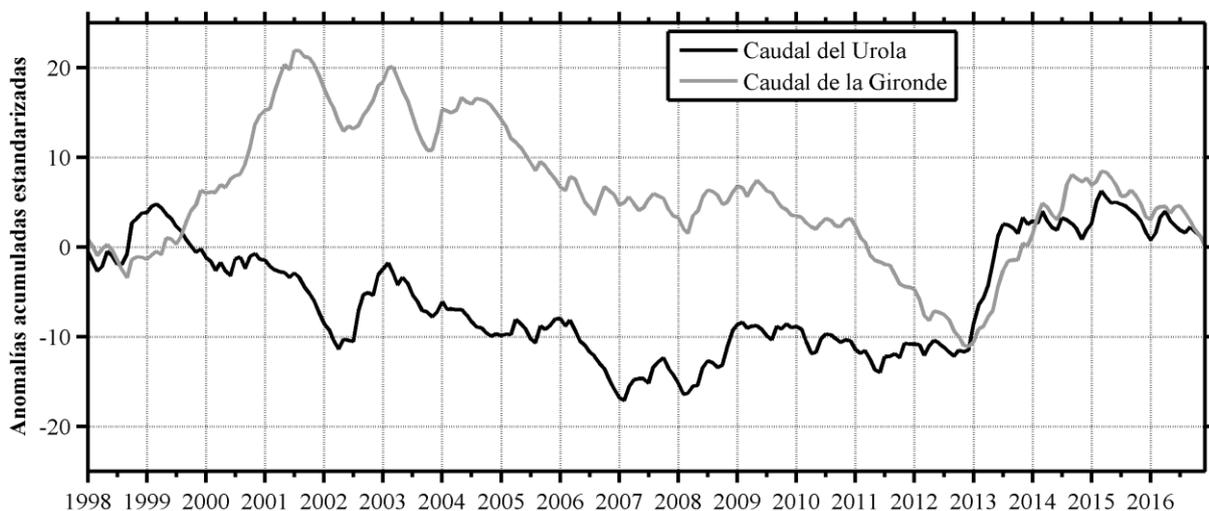


**Figura 28.** Diagrama Hövmoeller de evolución temporal de las anomalías de (a) caudal y de (b) precipitación estandarizadas, en la estación de aforo y de calidad de aguas de Aizarnazabal durante el periodo 1998-2016.

Tal y como se puede ver en la **Figura 28B**, las anomalías del caudal tienen su origen en las anomalías pluviométricas. De hecho, el caudal del Urola responde de forma lineal y simultánea a la precipitación registrada en esta misma estación. El coeficiente de correlación entre ambas variables es 0,78, altamente significativo. Las ligeras diferencias entre ambas variables probablemente estén asociadas a diferentes procesos físicos como la infiltración, interceptación de la lluvia, etc. (Trigo et al., 2004).

### 3.4.2 Escala geográfica local y regional

Obviando la variabilidad de alta frecuencia asociada al ciclo estacional, en el gráfico de anomalías acumuladas realizado con los datos de caudal del Urola (**Figura 29**) se observa la persistencia de valores por debajo de la media desde finales de la década de los 90 hasta 2007, aproximadamente. Entonces se produce un cambio de tendencia, indicativo de valores de caudal algo más elevados, que se incrementan bruscamente en 2013. Aunque siguen dominando las anomalías positivas del caudal hasta comienzos de 2015, posteriormente se observa un leve descenso.



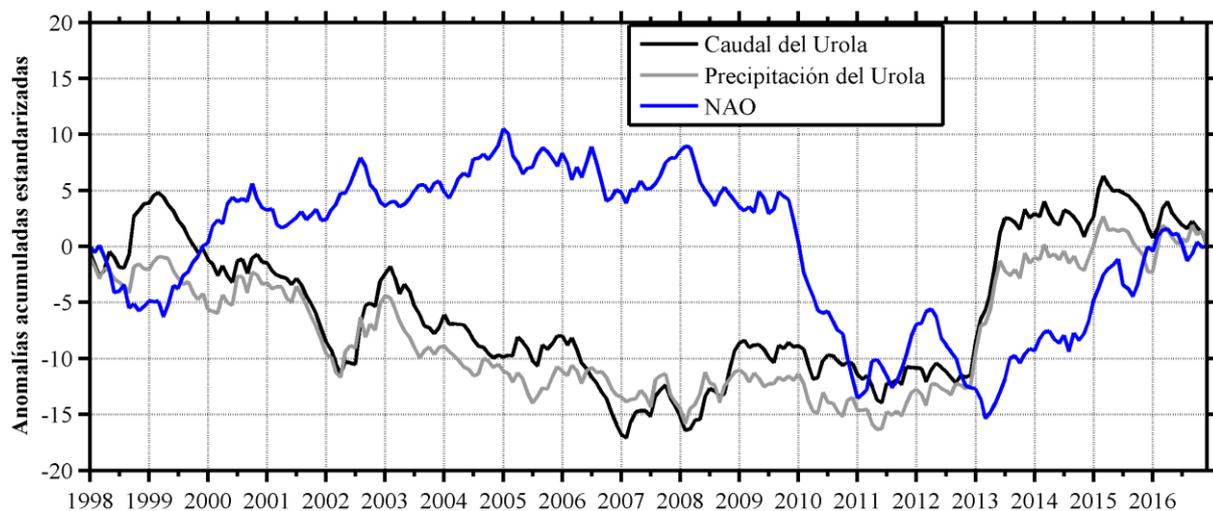
**Figura 29.** Anomalías acumuladas estandarizadas de los datos mensuales de caudal del Urola y de la Gironde durante el periodo 1998-2016.

A pesar de las diferencias asociadas al tamaño de las cuencas hidrográficas del Urola y del estuario de la Gironde, los caudales de ambas cuencas han evolucionado de forma sincrónica a lo largo del tiempo, con algunas salvedades al inicio del registro (**Figura 29**). En ambas zonas, a partir de 2013 se observan patrones muy similares lo que indicaría que el cambio de patrón a partir de 2013 responde más a cambios del régimen climático a escala regional, o incluso del Atlántico Norte, que a cambios locales en la cuenca del Urola.

### 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. Los regímenes fluvial y pluvial están caracterizados por presentar una gran variabilidad interanual. El modo principal de variabilidad atmosférica en el Atlántico Norte, Oscilación del Atlántico Norte (NAO por sus siglas en inglés), 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, la NAO no parece ser el principal factor que afecta la precipitación, especialmente en invierno, en el norte de la Península Ibérica (Sáenz et al., 2001; Chust et al., 2011). De hecho, Usabiaga et al. (2004) concluyen que únicamente el segundo modo de variabilidad ( $\approx 21\%$  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 ambos ríos para el periodo 1998-2016.

En la **Figura 30** se muestran las anomalías acumuladas mensuales del caudal y de la precipitación del Urola, así como de la NAO. Dicha Figura muestra que, por lo general, el caudal y la precipitación varían de forma opuesta a la NAO, con algunas salvedades a lo largo del registro (particularmente, en la última década). 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 30.** Anomalías acumuladas estandarizadas de los datos mensuales de caudal y precipitación del Urola y de la NAO durante el periodo 1998-2016.

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

Del análisis del régimen fluvial del Urola, a partir de una serie reciente de 19 años de duración, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Las anomalías del caudal en el Urola responden de forma lineal y simultánea a las anomalías de la precipitación en su cuenca. Durante el periodo comprendido entre 1998 y 2016, las anomalías más notables se han producido en el periodo 2013–2016, donde destaca 2013 por presentar anomalías de caudal excepcionalmente altas y el periodo 2014–2016 caracterizado por anomalías positivas durante la estación invernal y anomalías negativas durante la primavera y el otoño. Cabe destacar que, desde 2014 hasta 2016 inclusive, el caudal presenta una tendencia prácticamente nula en la época estival.

Los resultados muestran que el régimen fluvial tiene una importante variabilidad interdecadal a nivel regional. Los datos de caudal del Urola y de la Gironde evolucionan de forma similar durante el periodo de estudio. Esto indica que la variabilidad observada en el Urola responde más a cambios hidroclimáticos a escala regional que a cambios locales. La variabilidad atmosférica de baja frecuencia (NAO) no es el principal factor que gobierna el régimen pluvial y fluvial en el Norte de la Península Ibérica. Su influencia es compleja y varía temporalmente, por lo que no se ha podido establecer una pauta de asociación clara.

En lo que se refiere a los factores que podría explicar el reciente incremento de la frecuencia y magnitud de los picos de clorofila en el Urola, estos coinciden con la prevalencia de anomalías negativas de caudal durante las primaveras de 2014, 2015 y 2016. Esto apunta a un efecto meteorológico como responsable del aumento del grado de eutrofización en la zona superior del estuario, ya que, una menor descarga fluvial aumentará el tiempo de residencia del agua en dicha zona y con ello, las poblaciones de fitoplancton no serán arrastradas hacia el exterior. No obstante, se recomienda estudiar las tendencias de los nutrientes, para determinar si en los últimos años se han producido mayores aportes antrópicos de nitrógeno y fósforo en la cabecera del estuario, como factor adicional que habría favorecido el incremento de la clorofila.



## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del conjunto de actividades de muestreo y seguimiento de los seis estuarios principales de Gipuzkoa durante el año 2017, pueden aportarse las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- La concentración de **clorofila** se midió entre mayo y octubre en los estuarios del Deba, Urola, Oria, Urumea, Oiartzun y Bidasoa, realizándose 4 campañas de muestreo en cada uno de ellos.
- En 2017 las concentraciones de clorofila se encontraron en el rango normal esperado en estuarios de clima templado. Los máximos se observaron en primavera y/o en verano en la zona superior de los estuarios del Oria y del Urumea. Dichos picos (del orden de 20–40  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) estuvieron bastante por debajo de las elevadas concentraciones registradas el año anterior (concretamente, en el Urola y el Urumea en primavera de 2016 superaron 100  $\mu\text{g l}^{-1}$ ).
- 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. Para futuros informes se recomienda seguir estudiando la evolución a largo plazo de la concentración de clorofila utilizando el percentil 90 en periodos móviles de 6 años, con datos entre abril y octubre inclusive. Este estadístico puede ser también de utilidad como indicador de la calidad ecológica del estuario, siguiendo criterios acordes con la legislación europea (Directiva Marco del Agua).
- Los estuarios del Oria y del Urumea, en su zona superior, son los que han presentado peores condiciones en cuanto a biomasa fitoplanctónica en la serie histórica (con valores en el percentil 90 de la clorofila cercanos a 60  $\mu\text{g l}^{-1}$ ). Esto se debió a un incremento en la frecuencia de los picos de clorofila a mediados de la década del 2000. Además de la presión antrópica, posiblemente influyeran las condiciones de prolongado estiaje en esos años, que habrían favorecido la retención del fitoplancton en la cabecera de dichos estuarios.
- Por otra parte, en los 3 o 4 periodos más recientes se observa un aumento en el indicador de biomasa fitoplanctónica en la zona superior del Urola y en la zona media del Bidasoa. En estas aguas (oligohalinas en el caso del Urola y mesohalinas en el del Bidasoa) los valores del

percentil 90 se sitúan en torno a 30–40  $\mu\text{g l}^{-1}$ . El aumento en la frecuencia y/o magnitud de los picos de clorofila en estas zonas estuáricas indica que están sometidas a cierto grado de eutrofización, aunque ello no ha producido efectos negativos en el oxígeno y, además, el exceso de biomasa no se observa a lo largo de toda la longitud de estos estuarios. Podrían haber influido factores meteorológicos, en concreto, las condiciones de menor precipitación y caudal fluvial que han caracterizado a la época de primavera en los años 2014–2016 posiblemente aumentarían el tiempo de residencia del agua. Pero, el aumento de la clorofila también podría responder a un mayor aporte de nutrientes. En este sentido sería interesante conocer si ha habido un incremento en la presión antrópica en esas zonas. Actualmente, la zona superior del estuario del Oria (oligohalina) presenta valores similares a los del Urola y Bidasoa, cercanos a 35  $\mu\text{g l}^{-1}$ , en el percentil 90 de la clorofila. En la zona superior del Oria el indicador de biomasa fitoplanctónica siguió una tendencia de descenso desde finales de la década del 2000, pero dicha tendencia ha cesado en años recientes.

- 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 (normalmente en verano) 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 la bahía del Bidasoa, la estación muestreada para la clorofila es polihalina y el indicador de biomasa fitoplanctónica cumple con el objetivo de calidad. Otros estuarios también tienen aguas de similar salinidad en su zona más exterior (Urola, Oria y Urumea) y, asimismo, cumplen con el objetivo establecido para el percentil 90 de la clorofila. Sin embargo, en la bahía del Oiartzun, se supera el umbral que indica impacto en dos estaciones: la situada en el centro del puerto y la de la dársena de La Herrera. Ambas son de carácter euhalino y la acumulación de biomasa fitoplanctónica en ellas responde posiblemente a los aportes de nutrientes de origen antrópico, así como a la baja tasa de renovación del agua.

- En cuanto al **oxígeno disuelto**, se dispone de una serie temporal muy extensa, de unos 25–30 años en todos los estuarios. Las concentraciones medias más elevadas suelen corresponder a estaciones que tienen una fuerte influencia fluvial. Las más bajas, indicadoras de hipoxia, fueron detectadas en los primeros años de la serie temporal en algunas estaciones del Urumea, en la Regata Añorga y en el Río Mijoa (Mutriku), 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 en los seis estuarios. 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, los años 2014–2017 han presentado un periodo de estiaje prolongado, hasta bien entrado el otoño, lo cual ha coincidido con algunos mínimos de oxígeno en los meses de octubre y noviembre.
- En 2017, en general, siguen observándose 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  $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  en las estaciones de muestreo. Como excepciones se pueden citar en los últimos años valores en torno a  $3\text{--}4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , durante épocas de estiaje en la dársena de La Herrera.
- En cuanto a los **nutrientes** que más se relacionan con la presión antrópica (**amonio y fosfato**) los valores medios de 2017 son característicos de *muy buen* o *buen* estado fisicoquímico en las zonas de cabecera de los seis estuarios principales. Esto refleja el efecto del saneamiento efectuado en las cuencas en años recientes. Aunque de forma esporádica las concentraciones de fosfato en las cabeceras de algunos estuarios y regatas son indicadoras del aporte de aguas ricas en este nutriente, estos casos son poco frecuentes.
- En el Oiartzun se dispone de otras fuentes de datos de nutrientes para aguas de mayor salinidad (zona media e inferior del estuario) y estas indican que todavía existen cargas de nutrientes de origen antrópico directas al estuario.

- Al igual que en años previos, en 2017 se observan picos de amonio que indican vertidos frecuentes de aguas residuales en el Río Mijoa.
- El **riesgo de eutrofización**, valorando aspectos de susceptibilidad (hidrografía), presión (nutrientes) e impacto (clorofila y oxígeno) se considera que actualmente es bajo en todos los estuarios salvo en el Oiartzun (donde es alto) y en el Bidasoa (donde es medio). Estos últimos estuarios, como ya se ha comentado anteriormente, tienen mayor tiempo de residencia del agua, lo que les hace más susceptibles a la eutrofización.
- **Para trabajos sucesivos** se recomienda que los **muestreos de clorofila** se sigan realizando durante la época de crecimiento del fitoplancton (entre primavera y 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 finales de abril y finales de 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 2018.

## 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>.
- BOE, 2016. Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro. Boletín Oficial del Estado, Núm. 16, Sec. I., pp. 2972-4301. <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<sup>a</sup> 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.
- Orive, E., J. Franco, I. Madariaga, M. Revilla, 2004. Bacterioplankton and phytoplankton communities. En: Borja Á, Collins M (eds) *Oceanography and Marine Environment of the Basque Country*, Elsevier Oceanography Series, 70: 367-393, Elsevier, Amsterdam.
- 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.
- 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 (2<sup>nd</sup> 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, 2015. Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico, Revisión 2015 – 2021. Parte española de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. MEMORIA - ANEJO VIII: Seguimiento y evaluación del estado. Octubre de 2015. <http://www.uragentzia.euskadi.eus/nuevo-plan-hidrologico-cantabrico-oriental-2015-2021/u81-000333/es/>
- Usabiaga, J.I., J. Sáenz, V. Valencia, Á. Borja, 2004. Climate and Meteorology: variability and its influence on the Ocean. In: Borja, A. and 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	Cód.	Zona	Fecha	Hora	Sal. (PSU)	Chl-a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
DEB50000S	Puente Sasiola	6	Superior	23/05/2017	10:00	0,14	0,86
				04/07/2017	9:40	0,18	4,81
				28/08/2017	10:05	0,22	7,50
				03/10/2017	10:50	0,25	4,93
DEB53400S	Caserío Lasao	3	Media	23/05/2017	11:15	1,25	0,63
				04/07/2017	10:40	1,43	4,33
				28/08/2017	11:25	7,65	4,13
				03/10/2017	10:55	3,36	4,81
DEB54900S	Puente Deba	1	Inferior	23/05/2017	12:20	17,48	0,37
				04/07/2017	11:25	14,19	0,98
				28/08/2017	12:25	19,96	1,23
				03/10/2017	12:10	20,00	2,70

### 6.2 Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Urola

Estación	Localización	Cód.	Zona	Fecha	Hora	Sal. (PSU)	Chl-a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
URO55000S	Puente Gorostiaga	5	Superior	30/05/2017	11:30	4,81	1,02
				11/07/2017	10:50	5,35	9,29
				29/08/2017	11:05	0,48	4,47
				10/10/2017	11:10	7,48	2,13
URO57000S	Puente F.E.V.E.	3	Media	30/05/2017	12:20	15,96	0,61
				11/07/2017	11:50	16,75	7,21
				29/08/2017	12:05	8,13	6,01
				10/10/2017	12:10	11,21	1,03
URO58700S	Puerto de Zumaia	1	Inferior	30/05/2017	13:10	21,80	0,29
				11/07/2017	12:40	20,66	1,46
				29/08/2017	13:10	13,26	1,86
				10/10/2017	13:05	24,80	0,99

### 6.3 Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Oria

Estación	Localización	Cód.	Zona	Fecha	Hora	Sal. (PSU)	Chl-a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
ORI62400S	1 <sup>os</sup> embarcad. Aginaga	4	Superior	06/06/2017	11:10	0,11	24,16
				26/07/2017	10:55	0,51	25,88
				05/09/2017	9:50	0,68	43,71
				17/10/2017	10:55	0,63	13,29
ORI67200S	Astilleros (Atxega)	2	Media	06/06/2017	12:10	7,30	0,84
				26/07/2017	11:50	15,08	3,08
				05/09/2017	11:25	2,63	1,55
				17/10/2017	12:10	19,77	1,15
ORI70700S	Espigón salida al mar	0	Inferior	06/06/2017	13:15	24,00	2,06
				26/07/2017	12:45	25,70	2,22
				05/09/2017	12:25	29,70	0,51
				17/10/2017	13:05	31,70	0,85

### 6.4 Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Urumea

Estación	Localización	Cód.	Zona	Fecha	Hora	Sal.	Chl-a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
URU44000S	Puente Bº Txomin-Enea	6	Superior	13/06/2017	10:30	1,21	3,53
				01/08/2017	12:40	8,46	27,46
				12/09/2017	12:00	0,14	3,09
				24/10/2017	9:02	3,58	4,11
URU46600S	Puente de Hierro	9	Media	13/06/2017	12:00	11,54	0,35
				01/08/2017	11:35	26,80	4,23
				12/09/2017	11:05	0,80	5,15
				24/10/2017	10:10	15,33	1,10
URU49000S	Puente del Kursaal	11	Inferior	13/06/2017	12:55	18,69	1,06
				01/08/2017	10:25	34,80	0,89
				12/09/2017	9:20	24,20	3,47
				24/10/2017	10:50	23,99	0,68

## 6.5 Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Oiartzun

Estación	Localización	Cód.	Zona	Fecha	Hora	Sal.	Chl-a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
OIA14000S	Cola Puerto- Río	6	Superior	03/05/2017	9:45	28,80	0,36
				20/06/2017	10:15	31,60	1,51
				21/08/2017	10:00	30,01	5,58
				18/09/2017	10:30	27,10	0,67
OIA15000S	Salida Regata Molinao	4	Media	03/05/2017	10:25	34,60	0,33
				20/06/2017	10:43	33,10	1,16
				21/08/2017	10:40	33,90	13,80
				18/09/2017	11:07	27,70	0,76
OIA16700S	Canal salida al mar	2	Inferior	03/05/2017	11:30	33,80	0,27
				20/06/2017	11:30	34,70	1,16
				21/08/2017	11:45	35,00	7,32
				18/09/2017	11:45	31,30	0,62
OIA16200S	Dársena Herrera	1	Dársena	03/05/2017	10:40	33,60	0,34
				20/06/2017	11:00	33,10	0,85
				21/08/2017	11:00	34,60	13,81
				18/09/2017	11:21	20,40	0,99

## 6.6 Datos de clorofila obtenidos en el estuario del Bidasoa

Estación	Localización	Cód.	Zona	Fecha	Hora	Sal.	Chl-a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
BID07600S	Puente de Behobia	4	Superior	09/05/2017	10:30	0,75	6,01
				27/06/2017	11:20	6,89	9,84
				22/08/2017	11:40	4,22	2,38
				26/09/2017	11:05	0,99	1,37
BID10350S	Puente de Santiago	5	Media	09/05/2017	11:00	10,16	19,42
				27/06/2017	11:55	13,09	3,43
				22/08/2017	12:20	10,41	2,40
				26/09/2017	11:45	3,76	1,74
BID13300S	Cofradía de Pescadores	6	Inferior	09/05/2017	11:40	25,10	2,99
				27/06/2017	12:20	34,50	0,63
				22/08/2017	13:15	31,17	3,19
				26/09/2017	12:55	19,34	0,77