

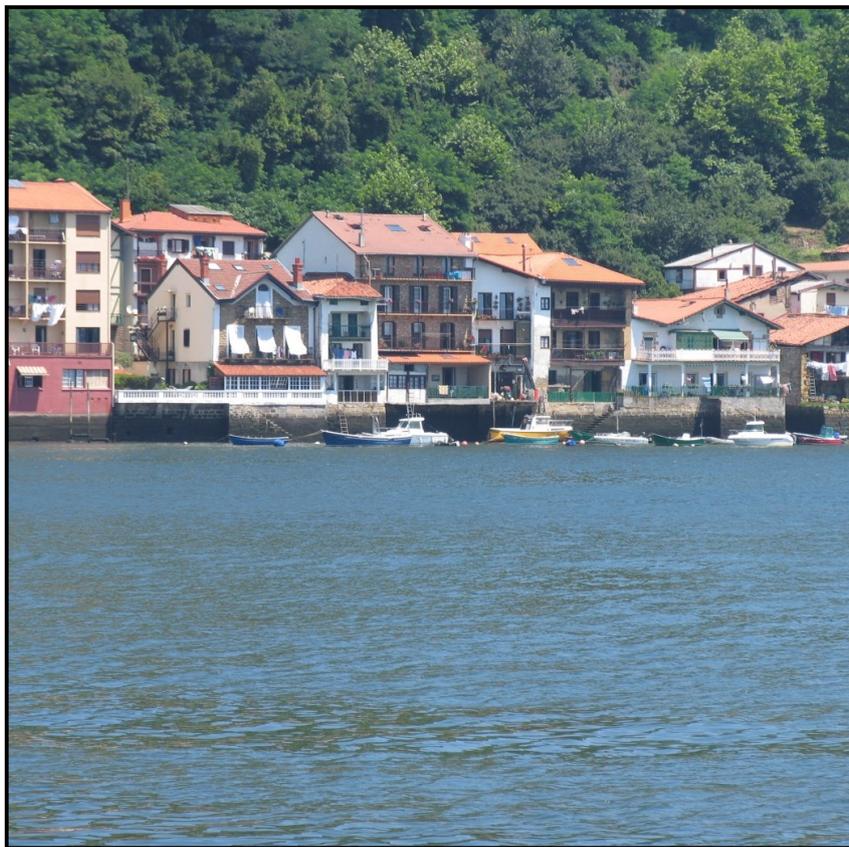
Egoitza / Sede Bizkaia
Txatxarramendi ugarte z/g
E-48395 Sukarrieta - Bizkaia (Spain)
Tel.: +34 946 029 400 - Fax: +34 946 870 006

Egoitza / Sede Gipuzkoa
Herrera Kaia - Portu aldea z/g
E-20110 Pasaia - Gipuzkoa (Spain)
Tel.: +34 943 004 800 - Fax: +34 943 004 801

<http://www.azti.es>
e-mail: info@azti.es



“Análisis de la calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2014”



Informe

para:

Dpto. Medio Ambiente y Ordenación del Territorio,
Diputación Foral de Gipuzkoa

Pasaia, 18 de diciembre de 2014



**Gipuzkoako
Foru Aldundia**

Tipo documento	Informe
Título documento	"Análisis de la calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2014"
Fecha	18 de diciembre de 2014
Código	IM14CLOROF
Cliente	Dpto. Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Diputación Foral de Gipuzkoa

Equipo de proyecto:	Marta Isabel Revilla Rodríguez Joxe Mikel Garmendia Etxandi
----------------------------	--

<p>Responsable de proyecto: Dra. Marta I. Revilla Rodríguez</p>  <p>Revisado por: Dr. Javier Franco San Sebastián, Coordinador del Área de Gestión Ambiental de Mares y Costas</p> 

Nota, este informe debe ser citado de la manera siguiente: 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 de la Fundación AZTI-Tecnalia para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Diputación Foral de Gipuzkoa. 66 pp.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	5
1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	7
2 METODOLOGÍA	9
2.1 Estaciones de muestreo.....	9
2.2 Variables ambientales del agua.....	15
2.2.1 Toma de muestras de agua y medida de variables “in situ”	15
2.2.2 Análisis de la concentración de clorofila	17
2.2.3 Comprobación y almacenamiento de los datos	18
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	20
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
3.1 Concentración de clorofila en los estuarios de Gipuzkoa.....	25
3.1.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal	25
3.1.2 Estudio del ciclo anual en cada uno de los estuarios	26
3.1.3 Tendencias a largo plazo de la clorofila en cada estuario.....	34
3.2 Contenido de oxígeno disuelto en los estuarios de Gipuzkoa.....	43
3.2.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal	43
3.2.2 Tendencias a largo plazo del oxígeno en cada estuario.....	45
3.3 Concentraciones de amonio y fosfato.....	55
3.3.1 Patrones generales de variabilidad espacial y temporal	55
3.3.2 Situación de los nutrientes indicadores de vertidos en el año 2014	56
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
5 BIBLIOGRAFÍA	65

AGRADECIMIENTOS

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

En la Unidad de Investigación Marina de AZTI-Tecnalia, la analítica de clorofilas e introducción de datos los llevaron a cabo Maite Cuesta, Goretti García, Marivi Lucero, Beatriz Beldarrain y Naiara Serrano. Inma Martín 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 físico-químicas 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.

La medida sistemática de dichas variables ha facilitado la evaluación de la calidad biológica y ambiental de los estuarios. Por ejemplo, se ha evaluado el estado del fitoplancton aplicando metodologías encaminadas al cumplimiento de la Directiva Europea Marco del Agua (Fontán et al., 2010; Revilla et al., 2011a).

Asimismo, las series de larga duración han hecho posible describir la evolución de la calidad ambiental en los estuarios a lo largo de los últimos 20-25 años. Así, anualmente, se describe en los informes la tendencia de la concentración del oxígeno en el agua, variable de gran interés ambiental. Además, recientemente, un estudio de la variación a largo plazo de las concentraciones de nutrientes (amonio y fosfato) y la turbidez ha permitido comprobar la eficiencia del saneamiento realizado en las últimas décadas (Revilla et al., 2011b).

Por otra parte, algunos informes anuales han incluido una caracterización del sedimento (granulometría, materia orgánica, potencial redox, metales pesados e hidrocarburos poliaromáticos (PAHs)). Así, 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 (ver por ejemplo, Belzunce et al., 2011; Muxika y Valencia, 2011; Muxika et al., 2012).

El presente informe se realiza a petición del Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Diputación Foral de Gipuzkoa. Este estudio se refiere a la evolución ambiental de los estuarios hasta el año 2014 y es una continuación de los informes anuales efectuados desde 1999. El presente informe no incluye caracterizaciones sedimentológicas.

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**. 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 las mismas 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 físico-químicas, 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 2014, 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.

2 METODOLOGÍA

2.1 Estaciones de muestreo

Los muestreos para el estudio de las variables físico-químicas 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 físico-químicas 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 20 años de medidas para las variables físico-químicas y más de 10 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. Nota: En Regata Añorga actualmente se muestrea la estación ANIO4800S.

Estuario	Estación	Localización	Código	SERIE TEMPORAL		SALINIDAD (máximo)
				Físico-Químicas	Clorofila "a"	
DEBA	DEB50000S	Puente Sasiola	6	1987-2001		<18
	DEB51000S	Barrio Astigarribia	5	1987-	1999-	<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-		>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-		>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 ^{os} embarcaderos Aginaga	4	1986-	1999-	<18
	ORI64700S	2 ^{os} 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
	ANIO5400S	Regata Añorga		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	OIA12200S	Puente de Rentería- Río Oiartzun		1989-		<18
	OIA13000S	Puente de Lezo- Río Oiartzun		1989-		<18
	MOL00600S	Regata Molinao		1989-		18-30
	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 físico-químicas 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 de muestreo (**Figura 1 a Figura 6**).



Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo en el estuario del Deba.



Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo en el estuario del Urola.



Figura 3. Localización de las estaciones de muestreo en el estuario del Oria.

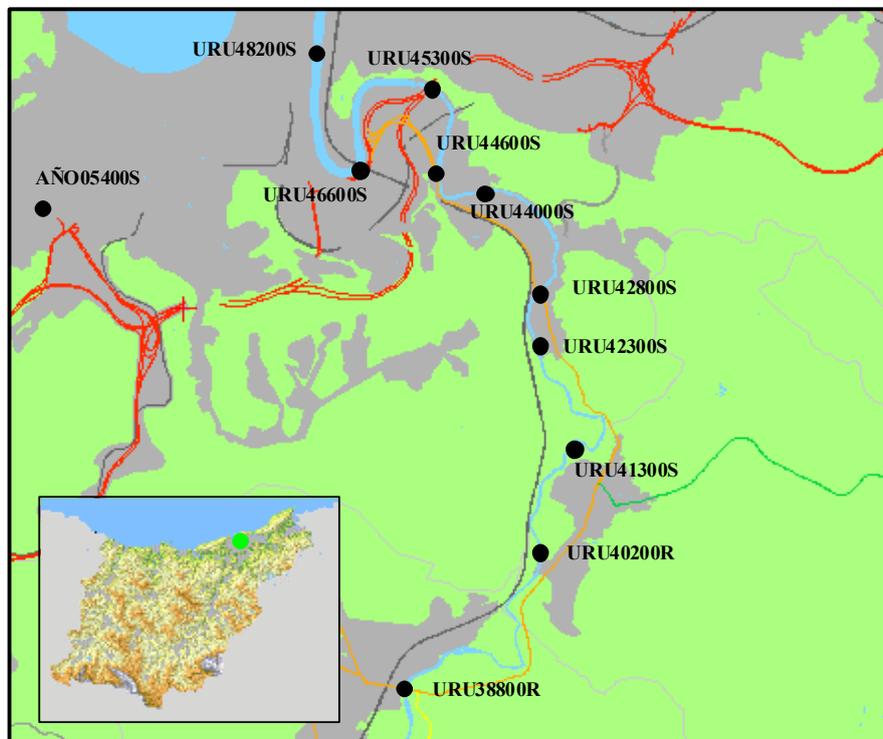


Figura 4. Localización de las estaciones de muestreo en el estuario del Urumea.



Figura 5. Localización de las estaciones de muestreo en el estuario del Oiartzun.

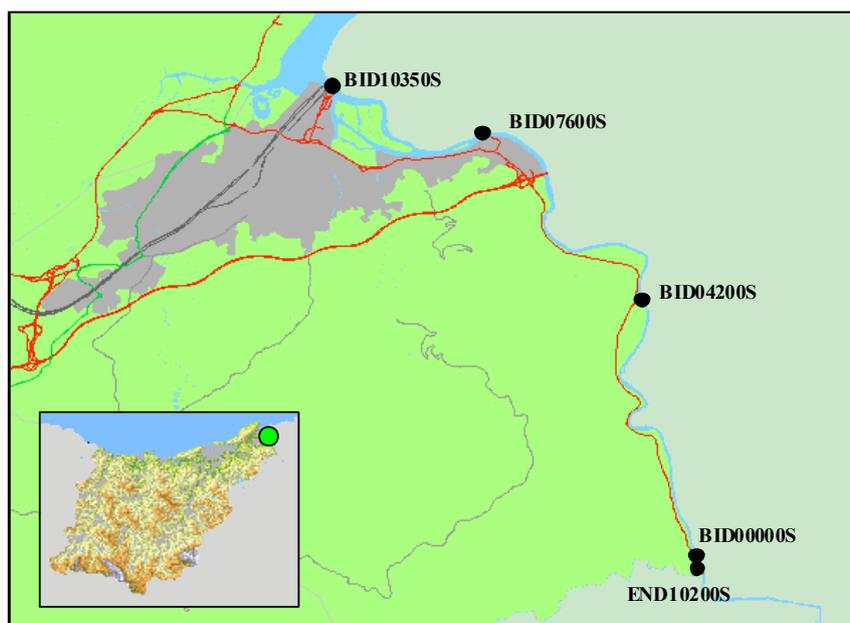


Figura 6. Localización de las estaciones de muestreo en el estuario del Bidasoa.

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, éstos 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 físico-químicas 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 físico-químicas.

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 fisico-química).

AÑO	DEBA	UROLA	ORIA	URUMEA	OLIARTZUN	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
				18 de diciembre de 2006		1 de diciembre de 2006
2007	12 de enero de 2007	19 de enero de 2007	26 de enero de 2007	9 de febrero de 2007	16 de marzo de 2007	2 de febrero de 2007
	16 de febrero de 2007	23 de febrero de 2007	2 de marzo de 2007	23 de marzo de 2007	25 de mayo de 2007	9 de marzo de 2007
	30 de marzo de 2007	13 de abril de 2007	2 de abril de 2007	4 de mayo de 2007	30 de julio de 2007	27 de abril de 2007
	1 de junio de 2007	15 de junio de 2007	21 de mayo de 2007	13 de julio de 2007	31 de agosto de 2007	8 de junio de 2007
	21 de julio de 2007	3 de agosto de 2007	17 de agosto de 2007	7 de septiembre de 2007	19 de octubre de 2007	10 de agosto de 2007
	24 de agosto de 2007	14 de septiembre de 2007	9 de noviembre de 2007	4 de octubre de 2007	14 de diciembre de 2007	11 de octubre de 2007
	16 de noviembre de 2007	7 de diciembre de 2007		30 de noviembre de 2007		26 de noviembre de 2007
2008	28 de febrero de 2008	7 de marzo de 2008	13 de marzo de 2008	3 de abril de 2008	15 de febrero de 2008	21 de febrero de 2008
	17 de abril de 2008	24 de abril de 2008	15 de mayo de 2008	2 de mayo de 2008	11 de abril de 2008	28 de marzo de 2008
	5 de junio de 2008	29 de mayo de 2008	13 de junio de 2008	17 de julio de 2008	20 de junio de 2008	22 de mayo de 2008
	23 de julio de 2008	29 de julio de 2008	7 de agosto de 2008	28 de agosto de 2008	21 de agosto de 2008	10 de julio de 2008
	3 de septiembre de 2008	11 de septiembre de 2008	18 de septiembre de 2008	2 de octubre de 2008	16 de octubre de 2008	13 de agosto de 2008
	9 de octubre de 2008	23 de octubre de 2008	31 de octubre de 2008	13 de noviembre de 2008	18 de diciembre de 2008	25 de septiembre de 2008
	20 de noviembre de 2008	27 de noviembre de 2008	11 de diciembre de 2008			6 de noviembre de 2008
2009	12 de enero de 2009	29 de enero de 2009	12 de febrero de 2009	21 de enero de 2009	7 de abril de 2009	15 de enero de 2009
	5 de febrero de 2009	12 de marzo de 2009	17 de marzo de 2009	26 de febrero de 2009	28 de mayo de 2009	19 de febrero de 2009
	9 de marzo de 2009	23 de abril de 2009	9 de abril de 2009	2 de abril de 2009	17 de julio de 2009	25 de marzo de 2009
	16 de abril de 2009	17 de junio de 2009	11 de junio de 2009	20 de mayo de 2009		14 de mayo de 2009
	4 de junio de 2009	6 de agosto de 2009	13 de agosto de 2009	27 de agosto de 2009		9 de junio de 2009
	23 de julio de 2009	10 de septiembre de 2009	16 de septiembre de 2009	30 de septiembre de 2009		24 de septiembre de 2009
	3 de septiembre de 2009	15 de octubre de 2009	22 de octubre de 2009	5 de noviembre de 2009		28 de octubre de 2009
8 de octubre de 2009		26 de noviembre de 2009				
12 de noviembre de 2009						
2010	4 de febrero de 2010	28 de enero de 2010	12 de febrero de 2010	15 de enero de 2010	23 de abril de 2010	18 de febrero de 2010
	11 de marzo de 2010	4 de marzo de 2010	17 de marzo de 2010	25 de febrero de 2010	17 de junio de 2010	25 de marzo de 2010
	8 de abril de 2010	15 de abril de 2010	29 de abril de 2010	31 de marzo de 2010	29 de julio de 2010	6 de mayo de 2010
	13 de mayo de 2010	27 de mayo de 2010	3 de junio de 2010	20 de mayo de 2010	23 de septiembre de 2010	10 de junio de 2010
	15 de julio de 2010	24 de junio de 2010	22 de julio de 2010	8 de julio de 2010	28 de octubre de 2010	5 de agosto de 2010
	12 de agosto de 2010	19 de agosto de 2010	26 de agosto de 2010	2 de septiembre de 2010	16 de diciembre de 2010	9 de septiembre de 2010
	16 de septiembre de 2010	30 de septiembre de 2010	7 de octubre de 2010	21 de octubre de 2010		15 de octubre de 2010
4 de noviembre de 2010	18 de noviembre de 2010	12 de noviembre de 2010	2 de diciembre de 2010		25 de noviembre de 2010	
22 de diciembre de 2010						
2011	17 de febrero de 2011	19 de enero de 2011	27 de enero de 2011	3 de febrero de 2011	10 de marzo de 2011	10 de febrero de 2011
	31 de marzo de 2011	24 de febrero de 2011	3 de marzo de 2011	24 de marzo de 2011	29 de abril de 2011	17 de marzo de 2011
	19 de mayo de 2011	15 de abril de 2011	7 de abril de 2011	12 de mayo de 2011	16 de junio de 2011	5 de mayo de 2011
	13 de julio de 2011	26 de mayo de 2011	2 de junio de 2011	7 de julio de 2011	1 de septiembre de 2011	9 de junio de 2011
	17 de agosto de 2011	21 de julio de 2011	4 de agosto de 2011	11 de agosto de 2011	3 de noviembre de 2011	28 de julio de 2011
	29 de septiembre de 2011	25 de agosto de 2011	7 de septiembre de 2011	22 de septiembre de 2011		15 de septiembre de 2011
	17 de noviembre de 2011	6 de octubre de 2011	13 de octubre de 2011	27 de octubre de 2011		19 de octubre de 2011
	24 de noviembre de 2011	15 de diciembre de 2011			1 de diciembre de 2011	
2012	26 de enero de 2012	9 de febrero de 2012	2 de febrero de 2012	18 de enero de 2012	12 de enero de 2012	29 de febrero de 2012
	7 de marzo de 2012	14 de marzo de 2012	21 de marzo de 2012	16 de febrero de 2012	22 de febrero de 2012	10 de abril de 2012
	18 de abril de 2012	23 de abril de 2012	2 de mayo de 2012	28 de marzo de 2012	3 de abril de 2012	22 de mayo de 2012
	29 de mayo 2012	5 de junio de 2012	12 de junio de 2012	7 de mayo de 2012	15 de mayo de 2012	26 de junio de 2012
	3 de julio de 2012	24 de julio de 2012	30 de julio de 2012	19 de junio de 2012	9 de julio de 2012	27 de agosto de 2012
	4 de septiembre de 2012	11 de septiembre de 2012	18 de septiembre de 2012	13 de agosto de 2012	20 de agosto de 2012	3 de octubre de 2012
	16 de octubre de 2012	24 de octubre de 2012	29 de octubre de 2012	25 de septiembre de 2012	9 de octubre de 2012	19 de noviembre de 2012
27 de noviembre de 2012	4 de diciembre de 2012	11 de diciembre de 2012	6 de noviembre de 2012	13 de noviembre de 2012		
			18 de diciembre de 2012			
2013	23 de enero de 2013	28 de enero de 2013	4 de febrero de 2013	18 de febrero de 2013	14 de enero de 2013	9 de enero de 2013
	12 de marzo de 2013	18 de marzo de 2013	25 de marzo de 2013	2 de abril de 2013	26 de febrero de 2013	5 de marzo de 2013
	23 de abril de 2013	29 de abril de 2013	6 de mayo de 2013	14 de mayo de 2013	16 de abril de 2013	8 de abril de 2013
	4 de junio de 2013	10 de junio de 2013 ^(*)	17 de junio de 2013	24 de junio de 2013	20 de mayo de 2013	27 de mayo de 2013
	22 de julio de 2013	1 de julio de 2013	12 de agosto de 2013	19 de agosto de 2013	9 de julio de 2013	15 de julio de 2013
	10 de septiembre de 2013	5 de agosto de 2013	24 de septiembre	30 de septiembre de 2013	26 de agosto de 2013	4 de septiembre de 2013
	21 de octubre de 2013	16 de septiembre de 2013	11 de noviembre de 2013	18 de noviembre de 2013	7 de octubre de 2013	14 de octubre de 2013
10 de diciembre de 2013	28 de octubre de 2013	30 de diciembre de 2013		26 de noviembre de 2013	2 de diciembre de 2013	
	16 de diciembre de 2013					

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

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

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 esta razón, en junio de 2013 no se tomó muestra de clorofila 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. Éste se realiza inmediatamente después de la toma de muestras (no transcurren más de 2 ó 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 2014, las variables físico-químicas 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 principios 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 superiores los volúmenes filtrados son más pequeños. Se utilizan filtros Whatman GF/C, que retienen partículas de un tamaño de 1-1,5 μm . Las células que aportan mayor concentración de clorofila en los estuarios de la costa vasca tienen un tamaño superior, generalmente entre 2 y 20 μm (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 físico-químicas 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.

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*) se ha 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 criterios que han tenido en cuenta los últimos avances científico-técnicos (**Tabla 3**) y así, se van a aplicar los umbrales que figuran en la última revisión del proyecto del Plan Hidrológico para la Demarcación del Cantábrico Oriental (URA, 2014). Estas modificaciones implican el establecimiento de 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).

No obstante, en el caso de los estuarios aún no se dispone de una herramienta precisa para la evaluación del estado del fitoplancton, como se desprende de las conclusiones del proceso de intercalibración europeo (Carletti and Heiskanen, 2009). Por ello, los umbrales empleados aquí deben tomarse como valores orientativos, ya que podrían revisarse en un futuro.

Tabla 3. Valores de clorofila que indican un impacto nulo o bajo en el estado biológico del fitoplancton, para aguas de distinta salinidad. El índice empleado consiste en el percentil 90 de la concentración de clorofila “a” calculado en un periodo de 6 años con valores medidos 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 (USP)	30-34	18-30	5-18	0-5

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

Como paso previo a la aplicación del índice, se ha hecho un estudio de la variabilidad estacional de la clorofila. 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.

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). Las características generales de esta base de datos se describen en Revilla et al. (2011b). En ella figuran, entre otras, la concentración de amonio (NH_4) y la de ortofosfato (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 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. De cara a elaborar el informe, la unidad empleada es μM . Los factores de conversión para pasar de gramos a moles son: 18 (amonio) y 95 (fosfato). Por ejemplo, si la concentración de amonio es $0,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, ésta primero se multiplica por 1000 (para pasar a $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) 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 $<0,03 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, se asume que su valor es $0,015 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. 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 que para el fosfato no se utilizarían límites de cuantificación que figurasen como $<0,1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ($1,1 \mu\text{M}$); $<0,25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ($2,6 \mu\text{M}$); $<0,3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ($3,2 \mu\text{M}$); o $<0,924 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ($9,73 \mu\text{M}$). No obstante, estos casos han sido poco frecuentes para el fosfato y generalmente se encontraron en los registros de los primeros años.

Para el fosfato, los límites de cuantificación correctos que figuran en la base de datos son: $0,03 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ($0,32 \mu\text{M}$) y $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ($0,53 \mu\text{M}$). 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: $0,01 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ($0,56 \mu\text{M}$), $0,03 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ($1,67 \mu\text{M}$) y $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ($2,78 \mu\text{M}$).

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

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

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

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

Interpretación de los datos en el contexto actual

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

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

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

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

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

Sin embargo, este patrón de disminución con la salinidad no se observa para el amonio, fosfato, P total y turbidez (**Tabla 5**). Los picos de estas variables (especialmente, el amonio y el fosfato) suelen reflejar vertidos de aguas residuales domésticas. Esto indica que aún es posible que se produzcan vertidos ocasionales 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 (BOE, 2013) 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 (μM)		Nitrato (μM)		Fosfato (μM)	
		MB/B	B/Mo	MB/B	B/Mo	MB/B	B/Mo	MB/B	B/Mo
Oligohalina	2,8	≥ 10	≥ 11	$\leq 12,5$	≤ 28	≤ 80	≤ 132	$\leq 2,30$	$\leq 6,2$
Mesohalina	11,5	≥ 10	≥ 11	≤ 11	≤ 22	≤ 61	≤ 98	$\leq 1,80$	$\leq 4,7$
Polihalina	24,0	≥ 8	≥ 9	≤ 7	≤ 14	≤ 33	≤ 50	$\leq 1,00$	$\leq 2,5$
Euhalina estuárica	32,0	≥ 6	≥ 7	≤ 5	≤ 9	≤ 15	≤ 18	$\leq 0,60$	$\leq 1,1$

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 físico-químicas medidas a lo largo de cada estuario, junto con la concentración de clorofila “a”, desde 1999 hasta 2014 (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 159,4 $\mu\text{g l}^{-1}$. 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 (EEUU).

Tabla 7. Valores mínimo, máximo y medio de temperatura (T), pH, turbidez (Turb.), concentración de oxígeno (Oxíg.), saturación de oxígeno (Oxíg. Sat.), salinidad (Sal.) y clorofila “a” (Chl-a). El periodo abarca hasta 2014; 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)	Oxíg. (mg l^{-1})	Oxíg. Sat. (%)	Sal. (PSU)	Chl-a ($\mu\text{g l}^{-1}$)
Deba	Mín.	5,9	6,1	1	0,9	9	0,0	0,0
	Máx.	25,5	10,5	232	14,2	161	35,6	55,5
	Med.	15,8	8,1	18	8,3	86	6,4	5,0
Urola	Mín.	6,4	6,3	1	2,3	25	0,0	0,0
	Máx.	25,1	9,1	400	17,3	184	35,0	69,4
	Med.	16,2	8,1	15	8,7	92	9,5	3,5
Oria	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.	15,9	8,0	30	8,6	89	7,4	7,0
Urumea	Mín.	6,1	6,1	0	4,0	42	0,0	0,0
	Máx.	26,8	9,5	260	16,2	191	35,6	103,9
	Med.	14,9	7,9	15	9,2	94	6,1	3,6
Oiartzun	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.	17,4	8,0	15	7,4	87	25,3	2,3
Bidasoa	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.	15,2	8,0	16	9,7	99	5,9	3,5
TOTAL	Mín	5,2	6,0	0	0,0	0	0,0	0,0
	Máx	28,8	10,5	960	17,3	191	36,5	159,4
	Med	15,9	8,0	18	8,7	91	10,0	4,0

La clorofila presenta una distribución relacionada en bastante medida con la salinidad (**Figura 8**). 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 es siempre inferior a $50 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ y en pocas ocasiones se supera $20 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Sin embargo, en aguas de salinidad más baja, la frecuencia y magnitud de los picos de clorofila aumenta (**Figura 8**). Esto indica que las mayores acumulaciones biomasa fitoplanctónica se dan 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 la zona superior de los estuarios (siempre y cuando no haya riadas) debido a que la influencia de la marea es menor en estas zonas.

El crecimiento del fitoplancton en la cabecera de los estuarios puede verse favorecido en los meses de verano debido a que las aguas son menos turbias y las riadas son 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 (véase por ejemplo, Villate et al., 1991; Franco, 1994; Borja et al., 2010).

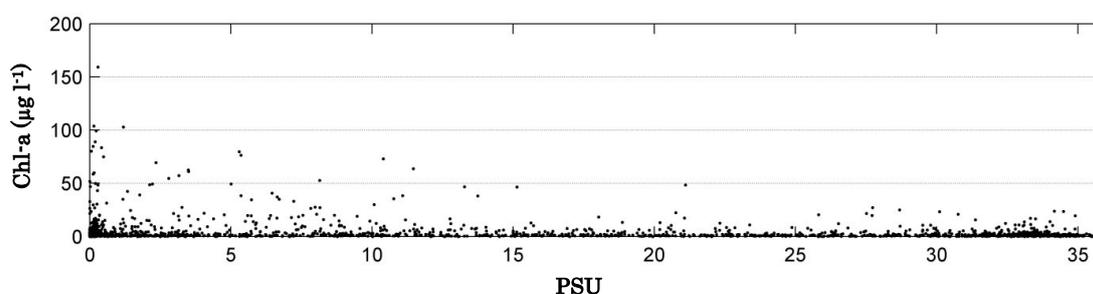


Figura 8. Distribución de la concentración de clorofila “a” (Chl-a) respecto a la salinidad (PSU), considerando todos los datos medidos, desde 1998 hasta 2014, en el conjunto de los estuarios de Gipuzkoa.

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, los máximos históricos de clorofila para el periodo de abril a octubre se observan en la zona superior, oligohalina, y alcanzan concentraciones en el rango de 50-100 $\mu\text{g l}^{-1}$.

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	5	Superior	1999-2014	0,2	Oligohalino	0,2	49,8
	3	Media	1999-2014	5,7	Mesohalino	$\leq 0,1$	55,5
	1	Inferior	1999-2014	16,2	Mesohalino	$\leq 0,1$	21,6
Urola	5	Superior	1999-2014	3,5	Oligohalino	$\leq 0,1$	69,4
	3	Media	1999-2014	19,7	Polihalino	$\leq 0,1$	12,0
	1	Inferior	1999-2014	27,7	Polihalino	$\leq 0,1$	19,7
Oria	4	Superior	1999-2014	0,4	Oligohalino	$\leq 0,1$	103,0
	2	Media	1999-2014	13,1	Mesohalino	$\leq 0,1$	46,6
	0	Inferior	2001-2014	26,3	Polihalino	$\leq 0,1$	48,5
Urumea	6	Superior	1999-2014	0,1	Oligohalino	$\leq 0,1$	80,2
	9	Media	1999-2014	9,7	Mesohalino	0,2	27,3
	11	Inferior	2001-2014	30,2	Euhalino	$\leq 0,1$	24,4
Oiartzunn	6	Superior	1998-2014	30,2	Euhalino	$\leq 0,1$	21,7
	4	Media	1998-2014	31,9	Euhalino	$\leq 0,1$	25,0
	2	Inferior	1998-2014	33,7	Euhalino	$\leq 0,1$	19,6
	1	Dársena	1998-2014	32,0	Euhalino	$\leq 0,1$	23,8
Bidasoa	4	Superior	1999-2014	1,9	Oligohalino	0,2	89,3
	5	Media	1999-2014	11,7	Mesohalino	$\leq 0,1$	47,2
	6	Inferior	2001-2014	27,4	Polihalino	$\leq 0,1$	13,8
Total						$\leq 0,1$	103,0

La magnitud de los máximos suele descender hacia la desembocadura, aunque algunos estuarios también presentan picos cercanos a 50 $\mu\text{g l}^{-1}$ en la zona media, mesohalina, como es el caso del Deba, Oria y Bidasoa. En los tramos polihalinos, que caracterizan las zonas media o inferior de algunos estuarios es raro encontrar concentraciones de este orden (únicamente en el Oria). En los tramos euhalinos el máximo absoluto registrado ha sido de 25 $\mu\text{g l}^{-1}$.

Como excepción, en el estuario del Oiartzun los máximos de la serie temporal son muy similares entre las distintas zonas (20-25 $\mu\text{g l}^{-1}$), todas ellas caracterizadas por condiciones euhalinas.

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.

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.

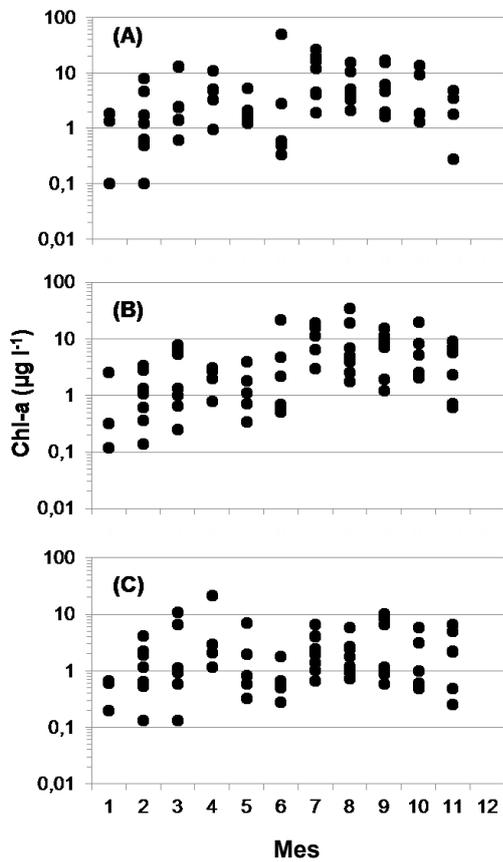


Figura 9 Variación estacional de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del **Deba**: (A) Estación 5 (zona superior); (B) Estación 3 (zona media); (C) Estación 1 (zona inferior). Se incluyen los datos de la serie de medidas entre 1999 y 2012. Los datos están representados en escala logarítmica.

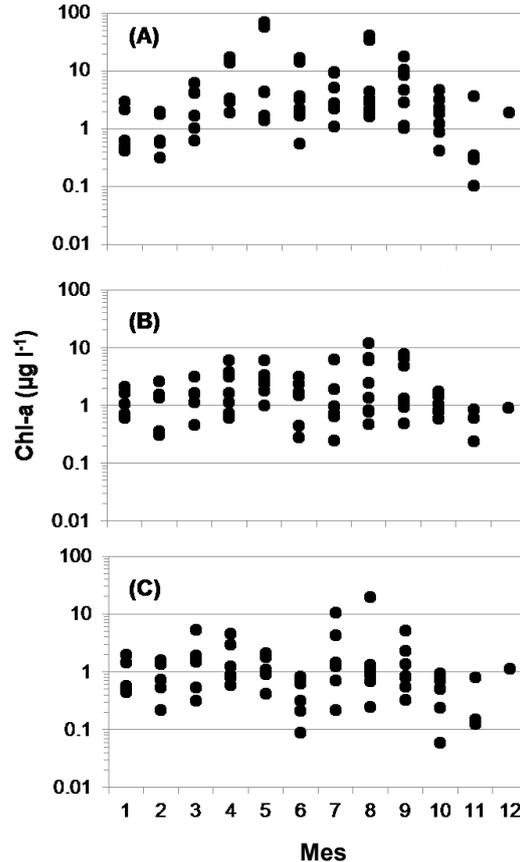


Figura 10. Variación estacional de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del **Urola**: (A) Estación 5 (zona superior); (B) Estación 3 (zona media); (C) Estación 1 (zona inferior). Se incluyen los datos de la serie de medidas entre 1999 y 2012. Los datos están representados en escala logarítmica.

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**).

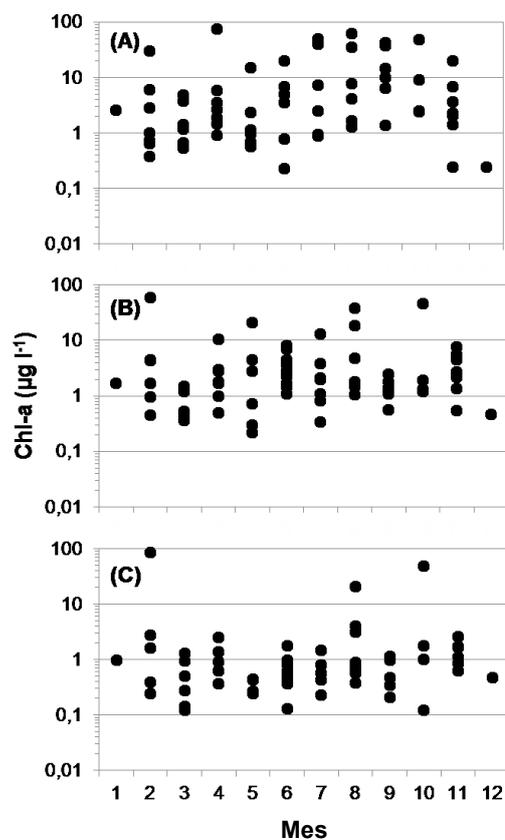


Figura 11 Variación estacional de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Oria: (A) Estación 4 (zona superior); (B) Estación 2 (zona media); (C) Estación 0 (zona inferior). Se incluyen los datos de la serie de medidas entre 1999 y 2012. Los datos están representados en escala logarítmica.

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 12A**).

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 12B**).

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**).

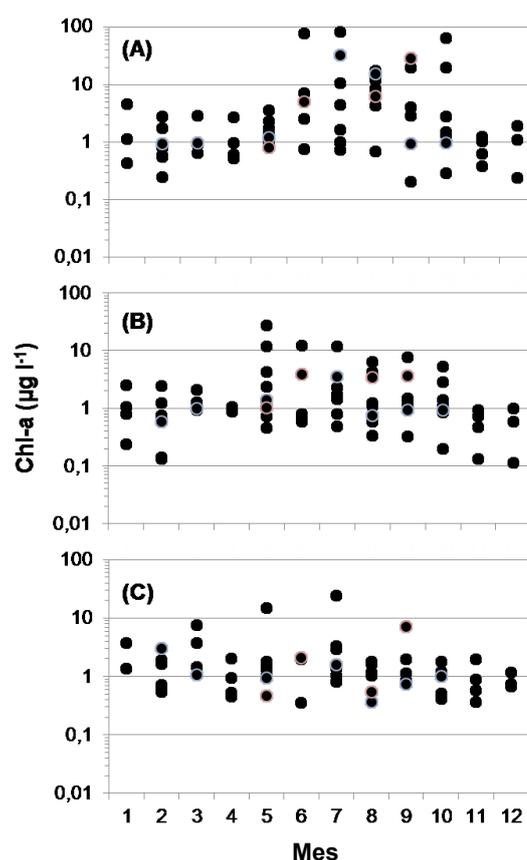


Figura 12 Variación estacional de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Urumea: (A) Estación 6 (zona superior); (B) Estación 9 (zona media); (C) Estación 11 (zona inferior). Se incluyen los datos de la serie de medidas entre 1999 y 2012. Los datos están representados en escala logarítmica.

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.

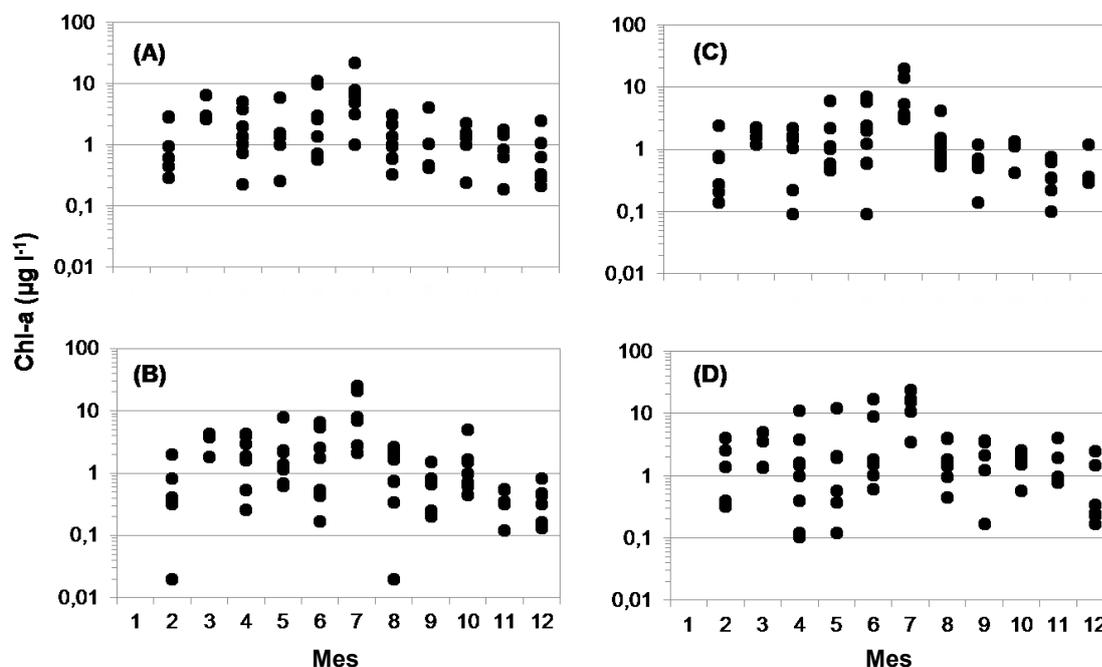


Figura 13 Variación estacional de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Oiartzun: (A) Estación 6 (superior); (B) Estación 4 (media); (C) Estación 2 (inferior); (D) Estación 1 (dársena). Se incluyen los datos de la serie de medidas entre 1998 y 2012. Los datos están representados en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

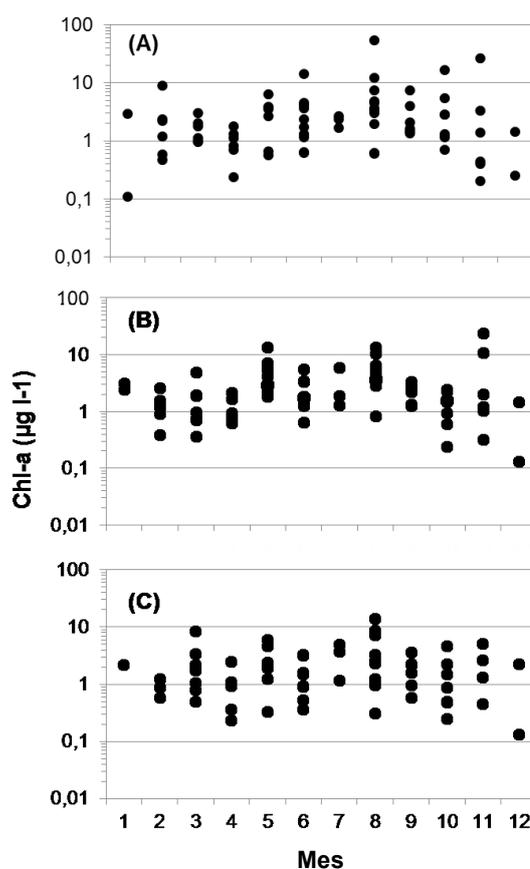


Figura 14 Variación estacional de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Bidasoa: (A) Estación 4 (zona superior); (B) Estación 5 (zona media); (C) Estación 6 (zona inferior). Se incluyen los datos de la serie de medidas entre 1999 y 2012. Los datos están representados en escala logarítmica.

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 2008 hasta 2014. 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 superior, con la excepción del Oiartzun que lo presenta en la dársena de la Herrera.

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.	Máx.	Mín.	Máx.
Deba	5	Superior	1999-2014	15	22	7,5	23,5
	3	Media	1999-2014	16	26	15,8	20,5
	1	Inferior	1999-2014	16	25	3,6	8,2
Urola	5	Superior	1999-2014	19	26	13,3	34,2
	3	Media	1999-2014	19	26	3,2	7,1
	1	Inferior	1999-2014	19	25	2,0	5,2
Oria	4	Superior	1999-2014	16	26	30,1	54,9
	2	Media	1999-2014	17	26	2,8	27,8
	0	Inferior	2001-2014	16	26	1,1	12,2
Urumea	6	Superior	1999-2014	19	26	12,6	58,1
	9	Media	1999-2014	18	25	4,6	11,4
	11	Inferior	2001-2014	22	26	1,8	3,2
Oiartzun	6	Superior	1998-2014	17	23	5,0	8,5
	4	Media	1998-2014	17	23	5,7	10,8
	2	Inferior	1998-2014	15	23	3,6	6,0
	1	Dársena	1998-2014	17	23	5,9	14,9
Bidasoa	4	Superior	1999-2014	18	25	4,8	9,8
	5	Media	1999-2014	19	26	5,7	8,1
	6	Inferior	2001-2014	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 en cada estuario y se hace una evaluación de la calidad de las aguas basada en el índice descrito en el apartado de Metodología.

Estuario del Deba

Como puede observarse en la **Figura 15 A**, en la zona superior del Deba a finales de los 90 la concentración de clorofila era relativamente baja, pero repuntó durante la primera mitad de la década del 2000. Posteriormente, tanto en la cabecera como en la zona media la clorofila siguió una tendencia de descenso (**Figura 15 A, B**). Por el contrario, la zona inferior del estuario ha mostrado una gran estabilidad a lo largo del tiempo en el percentil 90 de la clorofila (**Figura 15 C**).

Las concentraciones que se observan en las zonas superior y media en la primera mitad de la década del 2000 pueden ser indicadoras de eutrofia. Sin embargo, en los periodos más recientes el percentil 90 se sitúa muy cercano o por debajo del umbral, con lo cual puede afirmarse que el estuario actualmente no presenta problemas de crecimientos masivos de fitoplancton.

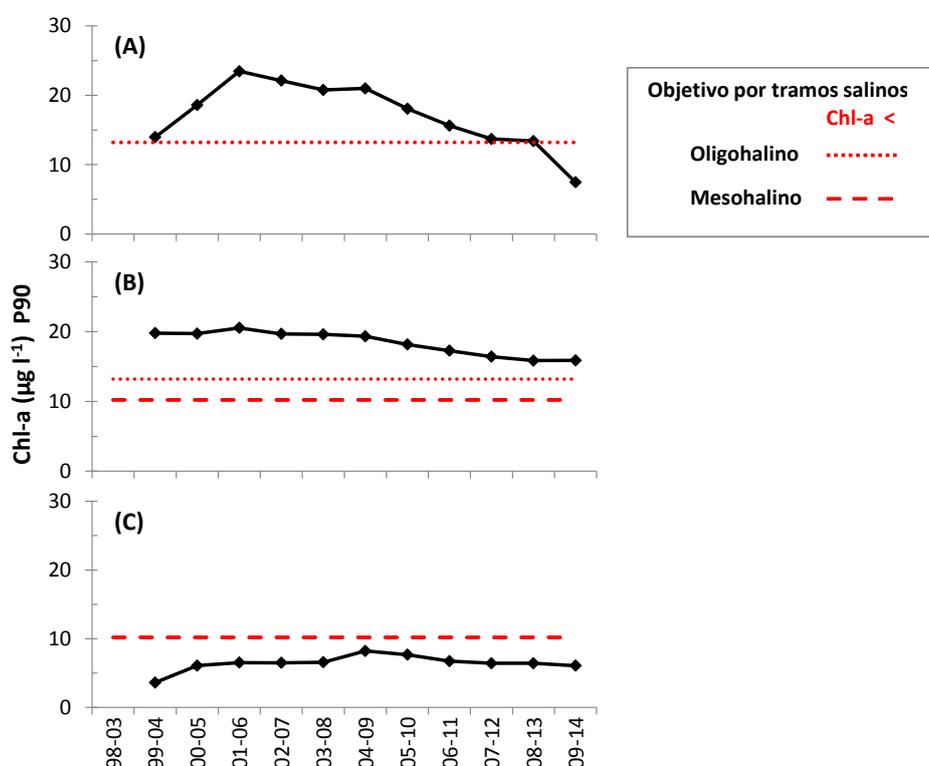


Figura 15 Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Deba: (A) Estación 5 (zona superior); (B) Estación 3 (zona media); (C) Estación 1 (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica.

Estuario del Urola

En la zona superior del estuario el índice de clorofila muestra hasta 2013 valores bastante estables, que se sitúan cerca del umbral que separa el estado *Bueno* del *Moderado* (**Figura 16 A**). Sin embargo, el índice repunta en 2014 indicando que ha habido situaciones de exceso de biomasa fitoplanctónica en esa zona. Aunque en la estación de carácter más fluvial la clorofila se ha mantenido desde 1999 casi siempre en valores relativamente bajos, en la primavera y verano de 2014 se han encontrado con mucha frecuencia concentraciones en el rango de 30-40 $\mu\text{g l}^{-1}$, dando lugar a un repentino aumento del índice. No obstante, es necesario recabar otras líneas de evidencia (por ejemplo, nutrientes) para determinar si existe un problema de eutrofización en la cabecera del estuario.

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**).

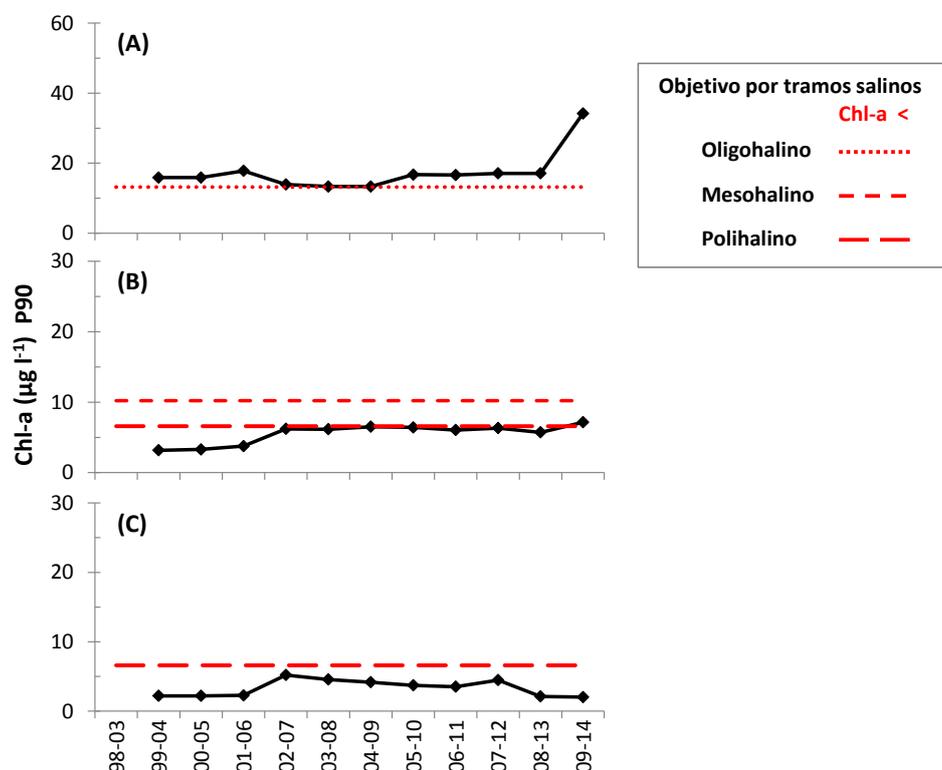


Figura 16 Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Urola: (A) Estación 5 (zona superior); (B) Estación 3 (zona media); (C) Estación 1 (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica.

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) indican que el estuario presenta floraciones fitoplanctónicas de alta intensidad que podrían deberse a una alta presión antrópica en esa zona. Aunque el percentil 90 sigue una tendencia de descenso a largo plazo, en el último periodo evaluado se sitúa en $38 \mu\text{g l}^{-1}$, alejándose mucho todavía del 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. Desde entonces el valor del índice señala una tendencia a la mejoría y actualmente se sitúa por debajo del umbral (**Figura 17 B, C**).

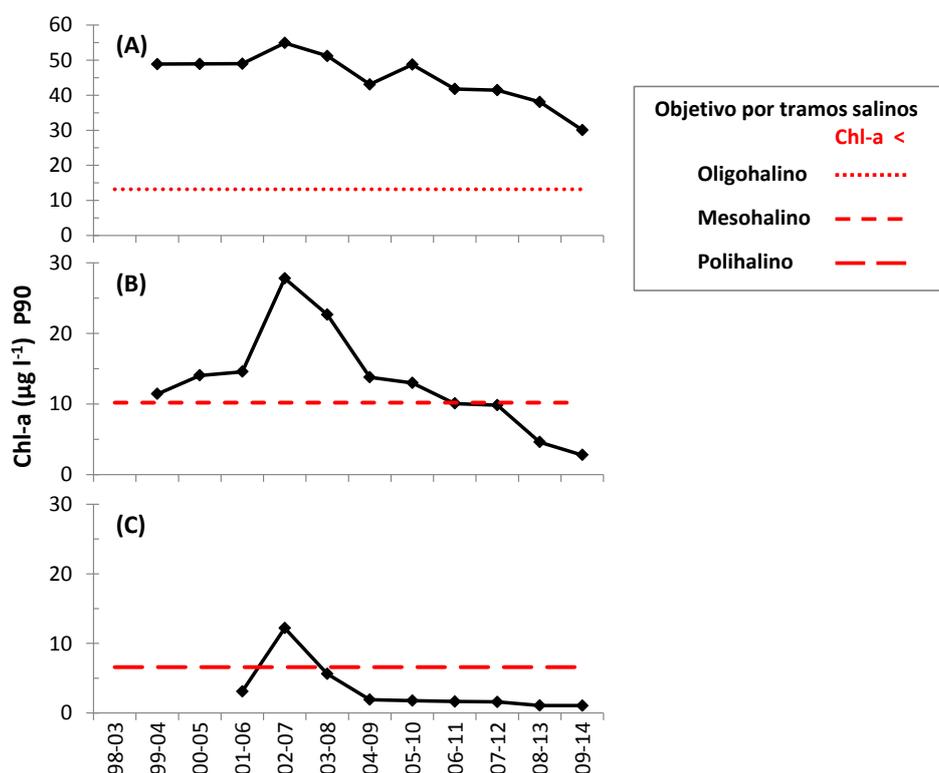


Figura 17. Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Oria: (A) Estación 4 (zona superior); (B) Estación 2 (zona media); (C) Estación 0 (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica.

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 valor del percentil se sitúa por encima del umbral en la mayor parte de la serie temporal, indicando que podría haber problemas de eutrofia persistentes en la zona superior del estuario (**Figura 18 A**). Aguas abajo en el estuario no se observan valores que superen el umbral, salvo de forma ocasional y ligeramente en la zona media (**Figura 18 B, C**).

Hay que señalar que el valor del percentil 90 de la clorofila manifiesta fuertes cambios a lo largo del tiempo en la estación 6 (**Figura 18 A**). Al principio es relativamente bajo e indica que no existe impacto de eutrofización en el fitoplancton a comienzos de la década del 2000. Sin embargo, pocos años después el valor del índice aumenta considerablemente, indicando la existencia de floraciones de alta intensidad en la zona superior del estuario. En los últimos 5 periodos el percentil 90 desciende y se sitúa más cerca del valor umbral.

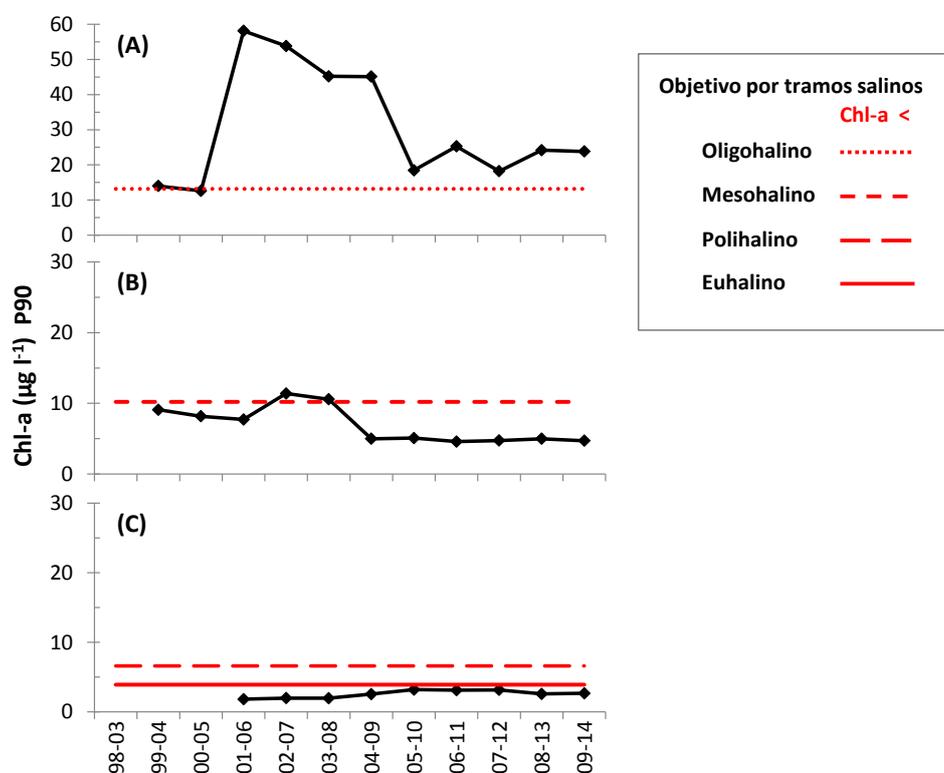


Figura 18 Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Urumea: (A) Estación 6 (zona superior); (B) Estación 9 (zona media); (C) Estación 11 (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica.

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 presenta una respuesta de aumento (indicadora de problemas de eutrofización) en los años en que precisamente mejoran las condiciones físico-químicas 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.

Si fuera debido a lo segundo, las oscilaciones de la clorofila se deberían manifestar de forma general en los estuarios de Gipuzkoa, o al menos en los que tienen mucha influencia fluvial (el Deba y el Oria). En cuanto a estos últimos, en la zona superior del Deba se observa un aumento de la clorofila, aunque no es tan pronunciado como en el Urumea. Dicho aumento es debido a un máximo histórico en 2006 (50 $\mu\text{g l}^{-1}$), así como a concentraciones moderadamente altas en 2003 y 2005. En el Oria se observa un máximo histórico en 2003 (47 $\mu\text{g l}^{-1}$). Por lo tanto, las condiciones meteorológicas es probable que favorecieran una acumulación de fitoplancton en el Urumea.

En todo caso, en el Urumea a pesar de los blooms que tuvieron lugar a mediados de la década del 2000 en la cabecera, la tendencia general señala un descenso sostenido de la concentración de clorofila.

Estuario del Oiartzun

El percentil 90 de la clorofila varía entre 3,6 y 14,9 $\mu\text{g l}^{-1}$, estos valores son bajos comparados con los de la mayoría de los estuarios guipuzcoanos (**Figura 19**). Sin embargo, hay que tener en cuenta la salinidad de este estuario, que afecta al valor umbral utilizado para la clasificación de la calidad (haciéndose más bajo, y por lo tanto, más exigente).

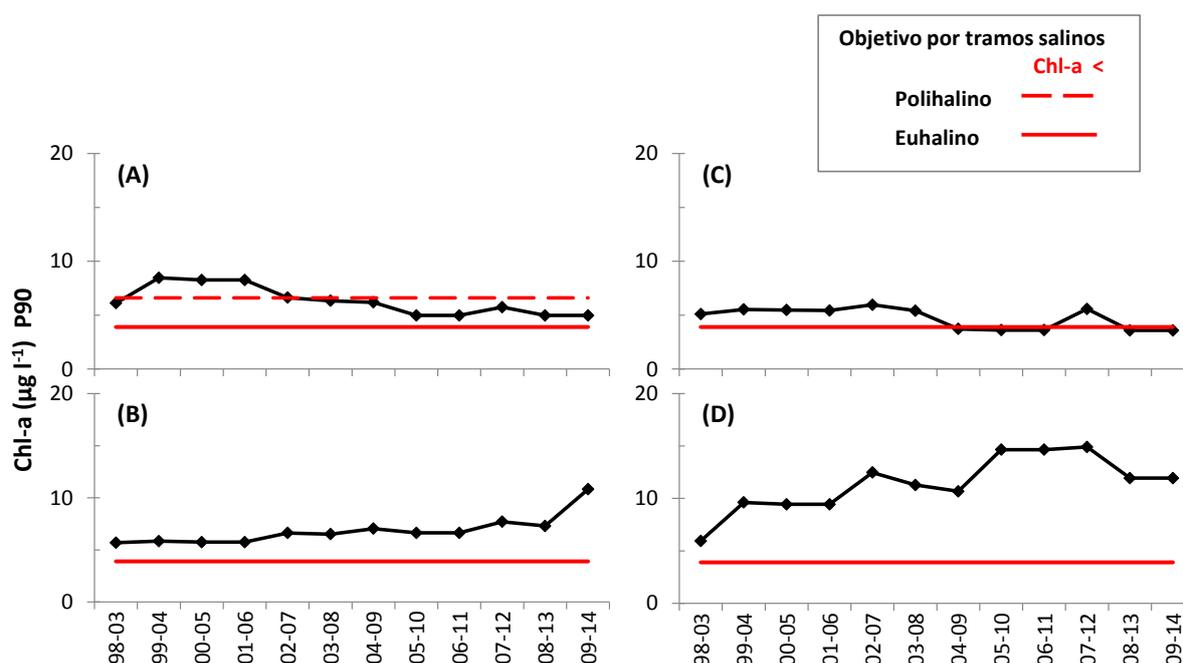


Figura 19. Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Oiartzun: (A) Estación 6 (zona superior); (B) Estación 4 (zona media); (C) Estación 2 (zona inferior); (D) Estación 1 (dársena de la Herrera). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica.

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 al umbral, lo cual es síntoma de problemas de crecimientos fitoplanctónicos excesivos 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 la dársena el índice muestra un aumento sostenido a lo largo de los años (**Figura 19 D**). La Estación 2 (zona inferior), por su localización también podría estar afectada por vertidos que se producen en la dársena de la Herrera. En dicha 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 la tendencia del percentil es al descenso indicando una mejora en la calidad a lo largo del tiempo (**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 muy 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, concretamente en la zona de La Herrera.

Estuario del Bidasoa

En el estuario del Bidasoa, lo mismo que en el del Oiartzun, el percentil 90 de la clorofila no sigue una tendencia de decremento muy acusada desde la cabecera hasta la zona inferior (**Figura 20**). Ambos estuarios son bastante profundos en sus zonas media y exterior y por lo tanto el tiempo de residencia del agua es relativamente elevado en éstas. Por ello, la concentración de clorofila se distribuye de forma más homogénea a lo largo de su extensión.

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.

Además, en el estuario del Bidasoa, el valor del índice en ningún caso supera los umbrales indicadores de eutrofia (**Figura 20**). Por lo tanto, este estuario no presenta problemas de acumulación excesiva de biomasa fitoplanctónica en ninguna de las estaciones estudiadas.

Hay que indicar, sin embargo, que en otros estudios se ha visto que este estuario 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.

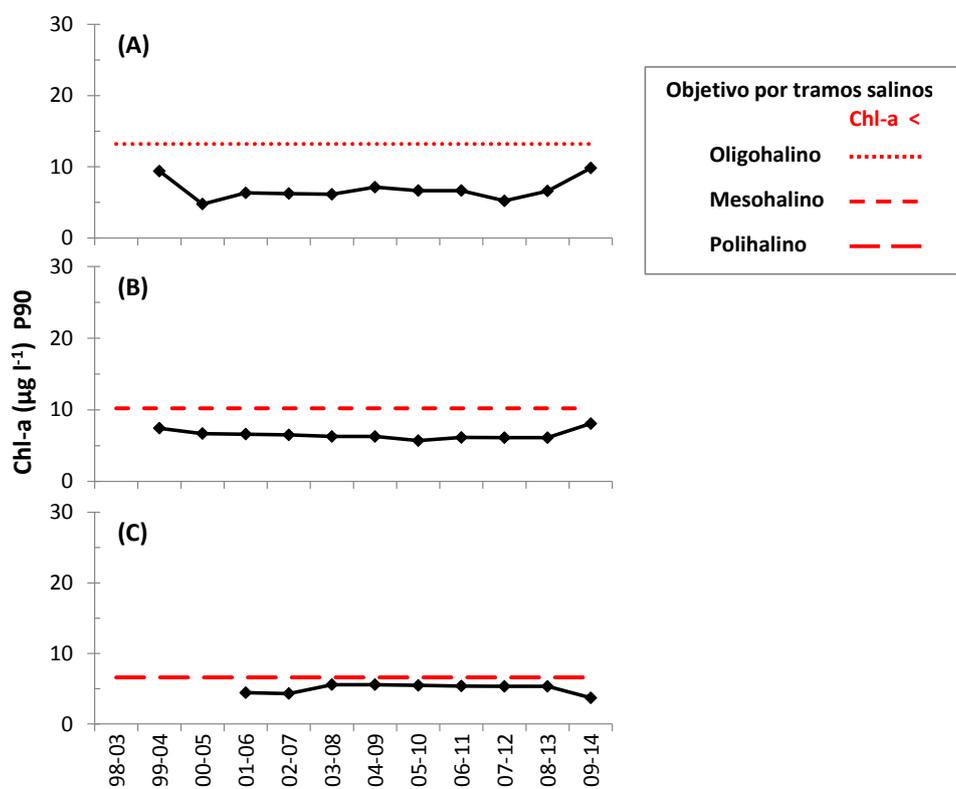


Figura 20. Variación del percentil 90 de la concentración de clorofila (Chl-a) en el estuario del Bidasoa: (A) Estación 4 (zona superior); (B) Estación 5 (zona media); (C) Estación 6 (zona inferior). La línea roja indica el umbral por encima del cual se considera que existe un exceso de biomasa fitoplanctónica.

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 para cada estación en el periodo en el que se dispone de datos. 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, cercanos a $17 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, se dieron 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 Mutriku (río Mijoa), 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 (Puente Sasiola en el Deba y Puente Carabel en el Urumea).

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 (mg l^{-1}). En rojo se señalan valores $\geq 14,00$.

Estuario y periodo	Estación	Localización	N	Máx.	Mín.	Media	Mediana	Desv. est.	Perc. 10	Perc. 90
DEBA (1988-2014)	DEB55400S	Espigón salida al Mar	93	12,50	5,10	8,36	8,37	1,73	6,10	11,01
	DEB54900S	Puente Deba	199	11,93	2,44	7,90	7,82	2,08	5,01	10,67
	DEB54300S	Astilleros Finca Laskibar	196	14,23	2,78	7,96	7,90	2,21	5,04	10,95
	DEB53400S	Caserío Lasao	195	14,03	3,47	8,18	8,36	2,15	5,20	11,16
	DEB52200S	Puente F. E. V. E	196	12,60	1,90	7,92	7,97	2,32	4,60	11,15
	DEB51000S	Barrio Astigarrabia	194	14,40	3,26	8,78	8,92	2,13	6,02	11,44
	DEB50000S	Puente Sasiola	100	13,03	4,17	8,85	9,09	2,03	5,79	11,24
MUTRIKU (2004-2014)	MIJ04450S	Río Mijoa MUTRIKU	62	11,81	0,90	7,97	8,24	2,60	4,43	11,09
UROLA (1988-2014)	URO58700S	Puerto de Zumaia	204	12,40	2,06	7,84	7,91	1,95	5,20	10,32
	URO57900S	Puente de la N-634	203	11,97	2,60	7,80	7,80	1,98	5,31	10,48
	URO57000S	Puente de F.E.V.E.	191	13,40	2,60	7,75	7,62	2,17	4,96	10,80
	URO55800S	Marismas	201	16,10	2,72	8,34	8,42	2,44	5,25	11,34
	URO55000S	Puente Gorostiaga	204	15,10	2,09	8,53	8,71	2,40	5,18	11,34
	URO54100S	Kondekua	206	14,50	1,34	8,46	8,89	2,50	4,70	11,30
	URO52800S	Puente Saburutx	205	17,00	1,35	8,68	9,28	2,78	4,40	11,56
	NAR07500S	Regata Narrondo	64	17,30	4,90	10,37	10,64	2,81	6,59	13,97
ORIA (1988-2014)	ORI70700S	Espigón salida al Mar	95	13,20	4,90	8,50	8,45	1,60	6,40	10,59
	ORI68700S	Puente Orio	203	13,20	4,18	8,11	7,92	1,87	5,80	10,80
	ORI67200S	Astilleros (Atxega)	205	13,05	4,08	8,01	7,80	2,02	5,53	10,83
	ORI64700S	2º embarcadero	205	14,33	3,46	8,43	8,45	2,16	5,70	11,05
	ORI62400S	1er embarcadero	205	14,38	3,60	8,65	8,80	2,20	5,78	11,10
	ORI60200S	Puente San Esteban	202	14,51	3,43	9,08	9,57	2,21	5,69	11,58
	ORI58600S	Km 4 N-634 Fca. UCIN	108	14,26	3,80	9,02	9,16	1,87	6,22	11,02
AÑORGA (1992-2014)	ANI04800S	Regata Añorga	127	13,60	0,40	7,09	7,67	2,84	3,19	10,46
URUMEA (1988-2014)	URU38800R	Pte.Carabel	182	14,02	4,39	10,12	10,30	1,63	8,22	12,12
	URU40200R	Pte.Ergobia	183	13,30	0,68	9,17	9,66	2,11	6,35	11,41
	URU41300S	Curva Astigarraga	283	15,70	0,67	9,28	9,70	2,19	6,60	11,60
	URU42300S	Pte.Barrio Pilar	279	14,80	0,39	8,89	9,40	2,43	5,67	11,40
	URU42800S	Pte.Barrio Martutene	277	13,10	0,33	8,77	9,30	2,52	5,26	11,50
	URU44000S	Pte.Barrio Txomin-Enea	280	16,20	0,74	8,61	8,89	2,45	5,30	11,15
	URU44600S	Pte. De los cuarteles	273	15,40	0,89	8,52	8,81	2,39	5,23	11,13
	URU45300S	Pte.Eguía	273	13,20	0,95	8,28	8,70	2,39	5,08	11,00
	URU46600S	Pte.de hierro	273	12,07	1,51	8,19	8,30	2,16	5,26	10,68
	URU48200S	Pte.Maria Cristina	271	11,80	2,10	8,11	8,10	1,94	5,68	10,40
URU49000S	Pte. Del Kursaal	96	12,43	4,50	8,85	8,84	1,48	7,25	10,80	
OIARTZUN (1989-2014)	OIA16700S	Canal salida al mar	114	10,93	1,77	6,96	7,00	1,78	4,60	9,17
	OIA16200S	Dársena Herrera	110	10,32	0,22	4,32	4,44	2,53	0,78	7,88
	OIA15500S	Centro del puerto	115	12,13	0,10	6,07	6,50	2,58	2,23	9,06
	OIA15000S	Salida regata Molinao	116	11,45	0,14	6,22	6,60	2,45	2,53	9,09
	OIA14500S	Dársena de Lezo	118	11,45	0,04	5,93	6,49	2,58	1,76	8,65
	OIA14000S	Cola Puerto Pasajes	115	14,20	0,11	5,86	6,40	2,93	0,90	9,20
BIDASOA (1992-2014)	BID13500S	Cofradía Pescadores	99	11,70	5,60	8,56	8,30	1,54	6,80	10,84
	BID10350S	Puente de Santiago	282	12,35	3,30	8,35	8,53	2,11	5,25	11,21
	BID07600S	Puente de Behobia	282	15,40	2,90	9,25	9,47	1,97	6,59	11,50
	BID04200S	Curva Alunda	281	14,14	3,44	10,29	10,34	1,51	8,51	11,99
	BID00000R	Puente Endarlaza	185	14,00	3,59	10,28	10,25	1,38	8,75	11,90
	END10200R	Salida Regata Endara	184	13,70	3,44	10,45	10,50	1,21	9,13	11,72

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. Destaca el año 2001, con un descenso general de la concentración media, salvo en cabecera (estación DEB50000S). Los valores mínimos evolucionan positivamente a partir del año 2007.

En 2014 el estuario ha presentado buenas condiciones de oxigenación, con valores medios en cada estación entre 9 y 11 mg l⁻¹. Las concentraciones más bajas se han observado en verano y otoño, pero nunca han descendido por debajo de 6 mg l⁻¹. Los picos de oxígeno en el estuario han estado en este último año en torno a 12-14 mg l⁻¹.

También se muestra la evolución anual del oxígeno en una estación del río Mijoa, en Mutriku (MIJ04450S). Desde 2004 el oxígeno en el río presenta una tendencia de aumento, aunque con algunas oscilaciones. El valor más bajo de oxígeno en el río Mijoa (0,9 mg l⁻¹) se detectó en primavera de 2004. En 2014, el río ha presentado buenas condiciones de oxigenación, con valores que han variado entre 7 y 11 mg l⁻¹.

Oxígeno en el estuario del Urola

En la **Figura 22** puede observarse que, en general, la evolución del oxígeno disuelto ha sido positiva, tendiendo a haber menos descensos bruscos en las concentraciones en las dos últimas décadas respecto a los años 80 y 90. El Urola ha presentado patrones similares a muchos otros estuarios de Gipuzkoa. Por ejemplo, se observan valores medios relativamente bajos en el año 2001.

Las condiciones de oxigenación en 2014 se pueden considerar, en general, buenas, con valores medios a lo largo del estuario de 9-10 mg l⁻¹. No obstante, los mínimos son algo más acusados que en el Deba (cerca de 5 mg l⁻¹ en la zona media del estuario). Los máximos han estado en torno a 10-12 mg l⁻¹.

En la regata Narrondo (NAR07500S), en una estación similar en sus condiciones de salinidad a la zona exterior del estuario (véase **Tabla 1**), se comenzó a medir el oxígeno en el año 2006. Aunque en el primer año de medidas los valores de oxígeno en esta estación eran algo más bajos, posteriormente ha alcanzado los mismos niveles que el estuario del Urola (**Figura 22**). En 2014 la concentración de oxígeno en esta regata varió entre 7 y 14 mg l⁻¹.

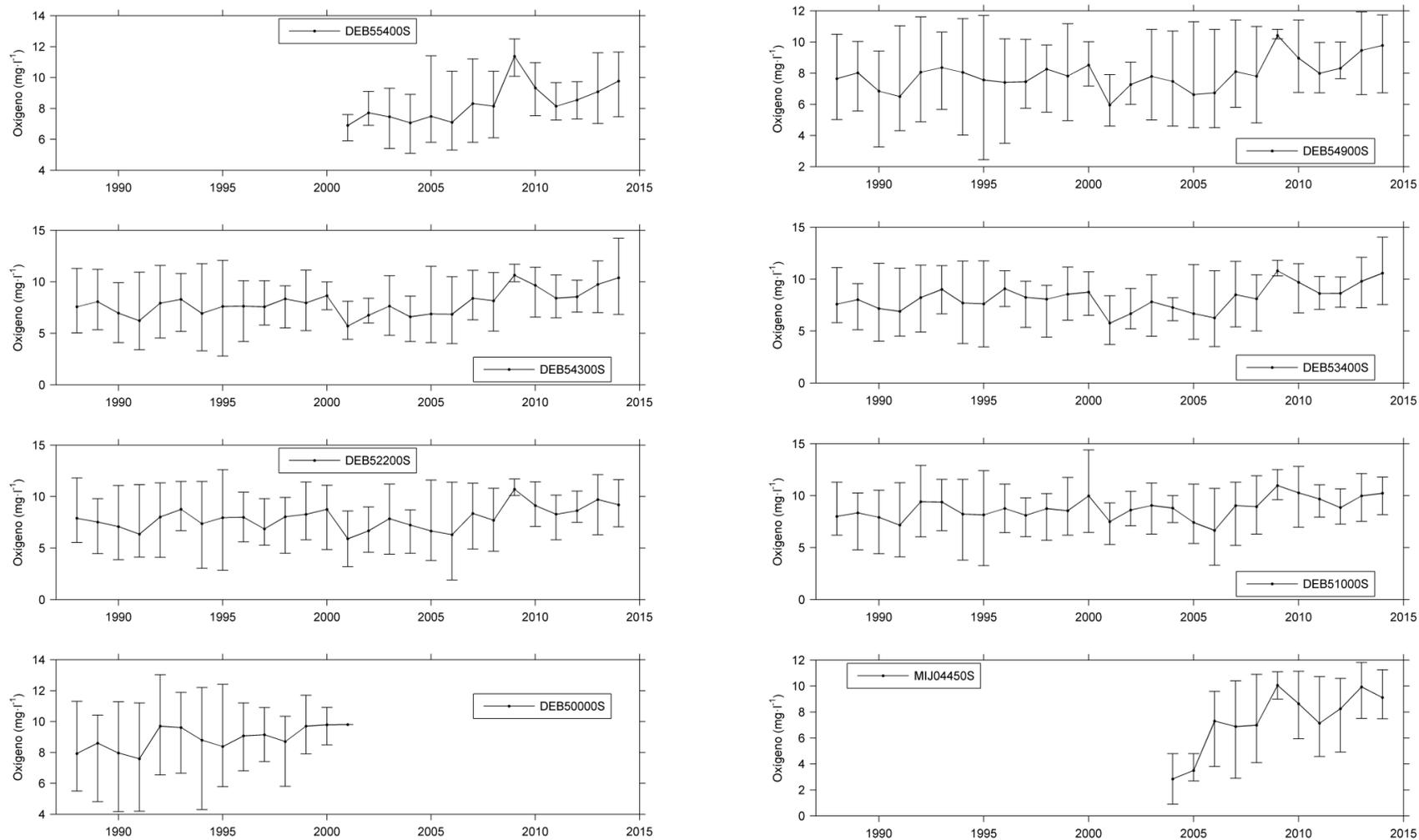


Figura 21. Evolución temporal de las concentraciones medias de oxígeno disuelto en las estaciones del Deba. Las medias son anuales, calculadas con todos los datos tomados en cada estación cada año. Se presentan también, con barras verticales, los intervalos de concentraciones medidas.

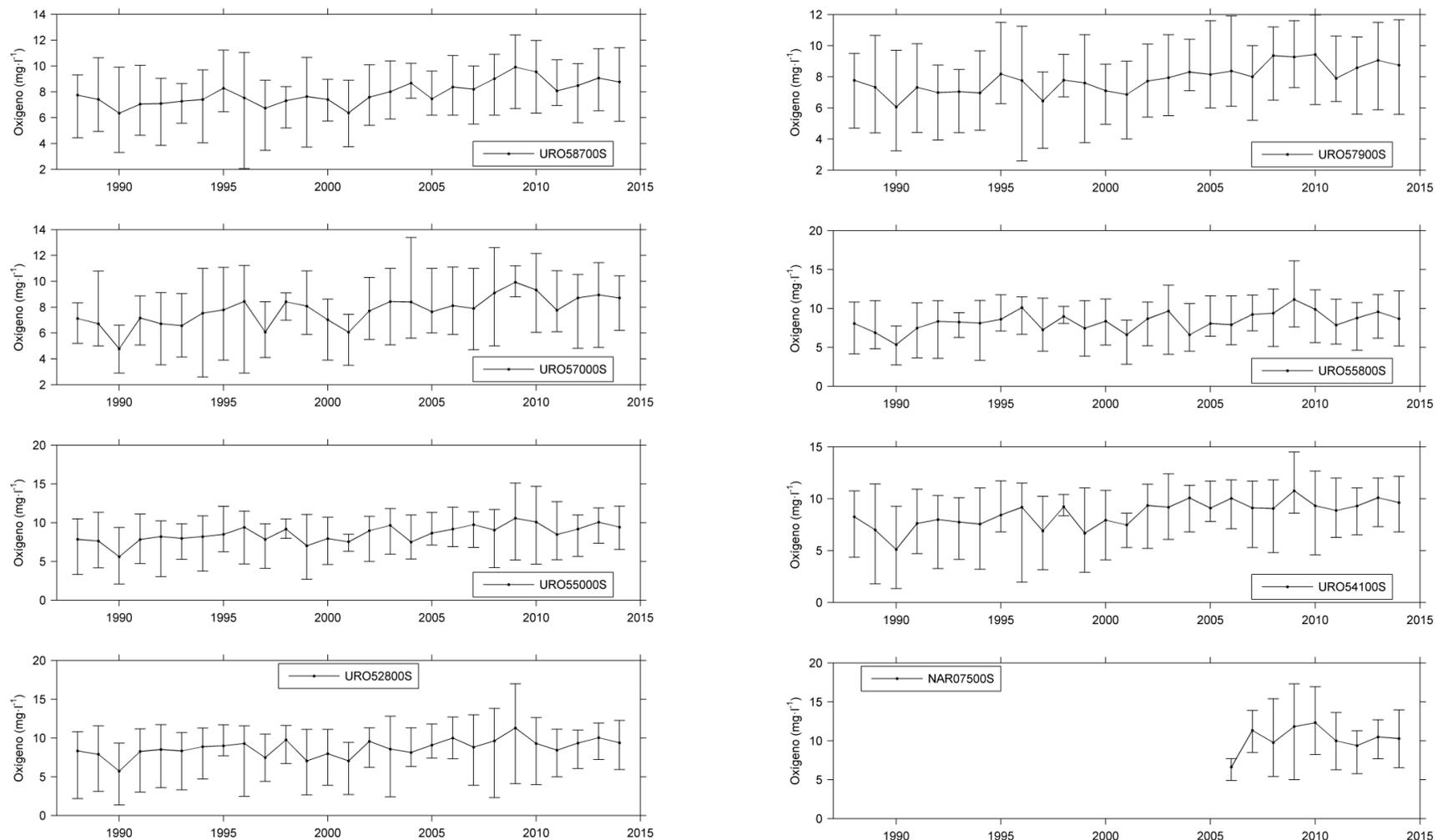


Figura 22. Evolución temporal de las concentraciones medias de oxígeno disuelto en las estaciones del Urola. Las medias son anuales, calculadas con todos los datos tomados en cada estación cada año. Se presentan también, con barras verticales, los intervalos de concentraciones medidas.

Oxígeno en el estuario del Oria y la Regata Añorga

En el estuario del Oria se han apreciado algunas oscilaciones desde finales de los años 80, pero en general en los últimos seis años las condiciones de oxigenación han sido buenas (**Figura 23**). En 2014 el estuario del Oria ha presentado valores medios ligeramente superiores a 9 mg l^{-1} en todas las estaciones. Los valores más bajos se han medido en el estuario a finales de septiembre (en torno a 6 mg l^{-1}) en la zona media-superior situada entre los astilleros (ORI67200S) y el Puente de San Esteban (ORI60200S). Los picos de oxígeno no han sido excesivamente altos durante este último año, siendo del orden de $11\text{-}12 \text{ mg l}^{-1}$ en todas las estaciones.

En cuanto a la Regata Añorga (ANI04800S / ANI05400S), a largo plazo, las concentraciones medias y mínimas parecen ir en aumento (**Figura 23**). Durante la década de los 90 y hasta mediados de la del 2000 se detectaron algunos valores entre 0 y 2 mg l^{-1} . A partir del año 2007 el oxígeno supera siempre 3 mg l^{-1} , y en los últimos tres años no se han observado valores por debajo de 8 mg l^{-1} . En 2014 la concentración media de oxígeno ha sido cercana a 10 mg l^{-1} .

Oxígeno en el estuario del Urumea

En este estuario se observa un incremento notable de los valores mínimos a lo largo de los últimos 20 años (**Figura 24**). En la zona superior se registraban concentraciones inferiores a 1 mg l^{-1} 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. En la zona media, desde el Puente de Eguía (URU45300S) hasta el Puente de María Cristina (URU48200S), las condiciones de oxigenación mejoran unos años después. En 1995 los valores mínimos, que antes estaban comprendidos entre 1 y 2 mg l^{-1} , pasan a estar entre 4 y 5 mg l^{-1} . A partir de 2007, a lo largo de todo el estuario, los valores mínimos rara vez descienden por debajo de 6 mg l^{-1} .

En el año 2014 las condiciones de oxigenación han sido también buenas. El valor medio supone $9,7 \text{ mg l}^{-1}$; además, no hay una gran diferencia entre los mínimos, encontrados en verano y a comienzos de otoño ($7\text{-}8 \text{ mg l}^{-1}$) y los valores del resto del año ($9\text{-}12 \text{ mg l}^{-1}$). 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.

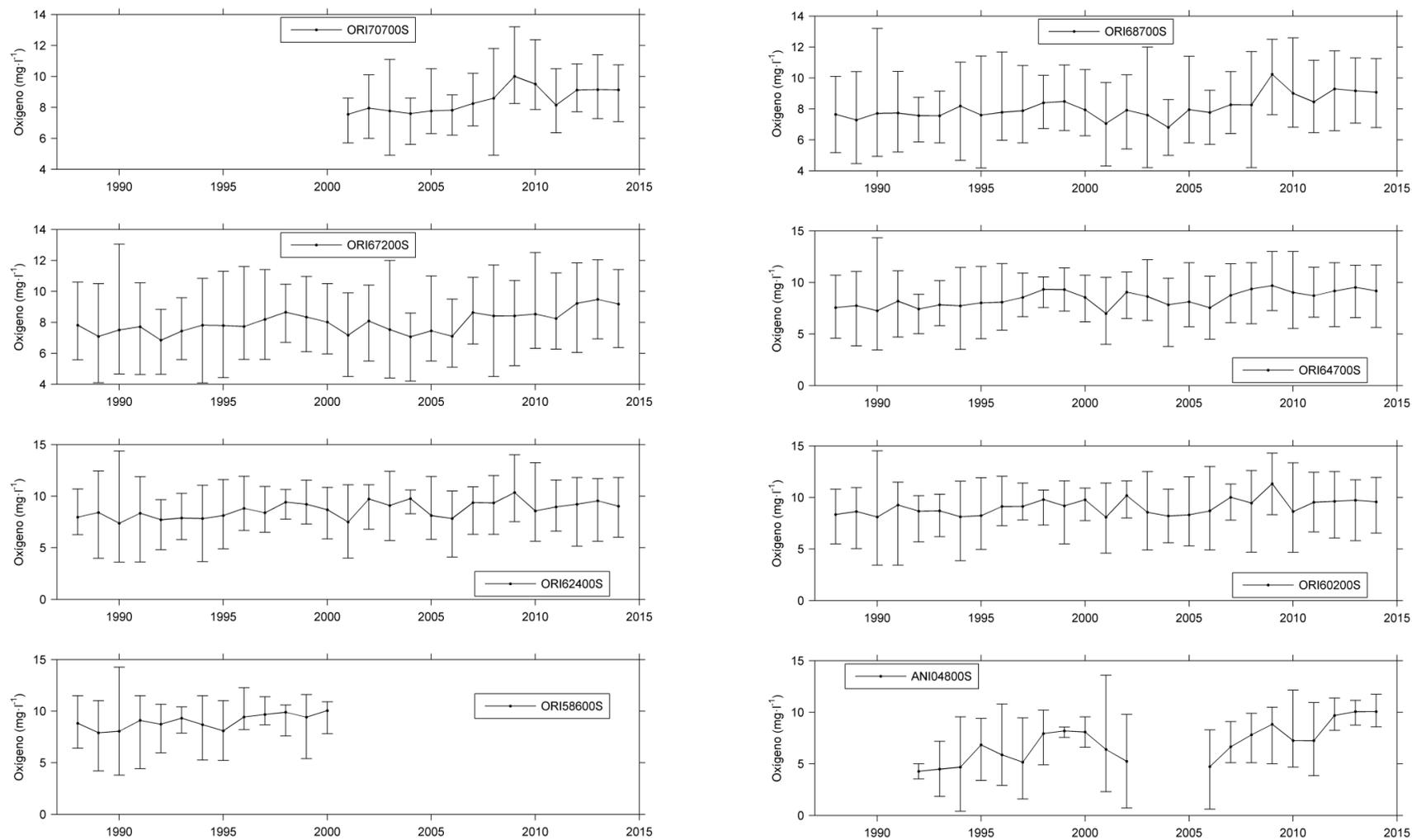


Figura 23. Evolución temporal de las concentraciones medias de oxígeno disuelto en las estaciones del Oria y en la Regata Añorga. Las medias son anuales, calculadas con todos los datos tomados en cada estación cada año. Se presentan también, con barras verticales, los intervalos de concentraciones medidas.

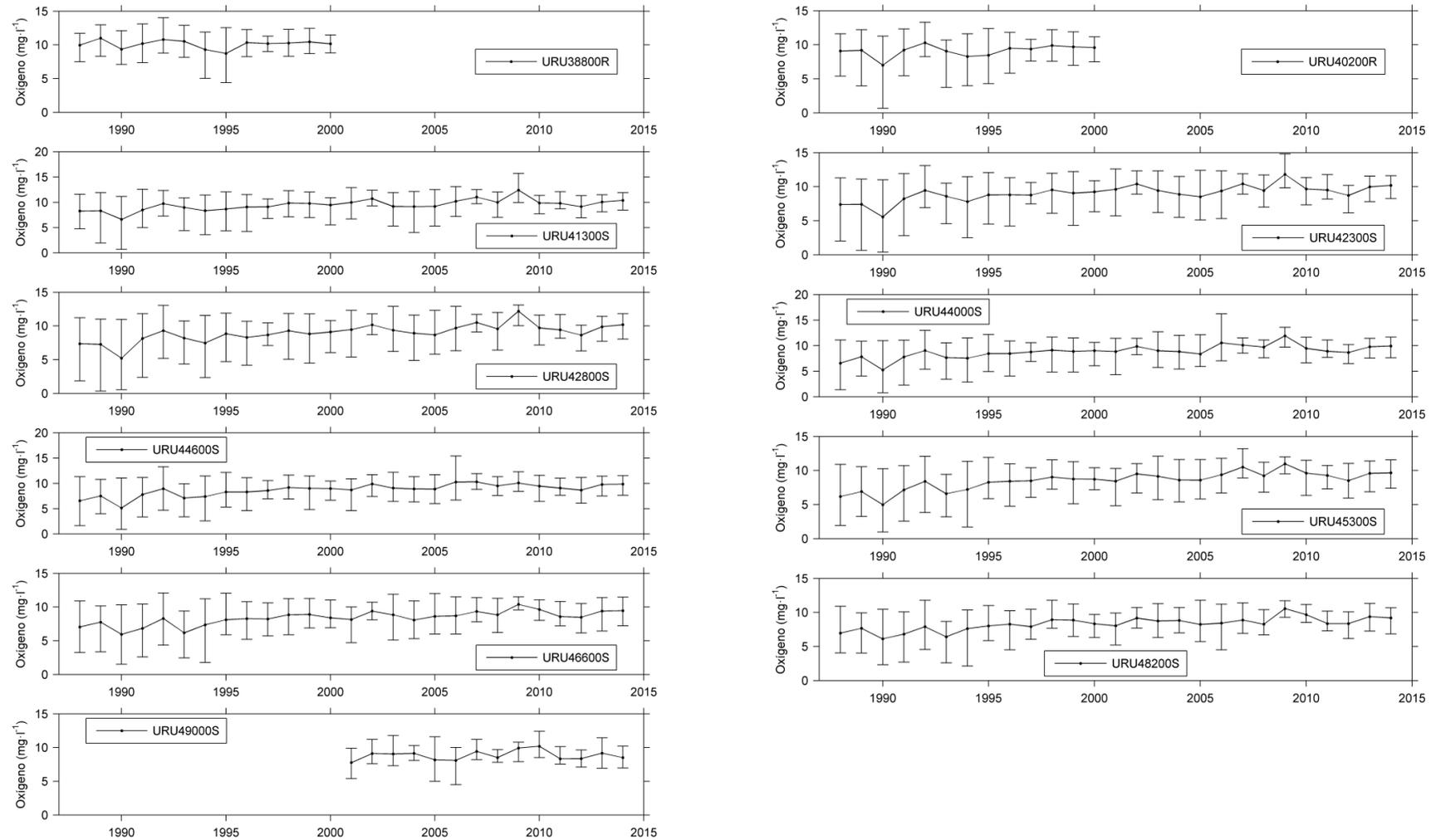


Figura 24. Evolución temporal de las concentraciones medias de oxígeno disuelto en las estaciones del Urumea. Las medias son anuales, calculadas con todos los datos tomados en cada estación cada año. Se presentan también, con barras verticales, los intervalos de concentraciones medidas.

Las condiciones meteorológicas en el País Vasco entre el final de la década de los 80 y el comienzo de la década 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 l m^{-2} , mientras que a partir de 1992 y hasta 1998 fueron superiores a 400 l 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 mg 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 mg 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 ($<2 \text{ mg l}^{-1}$) 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.

Por otra parte, se observa también un ligero repunte del oxígeno a partir de 2009. Así, desde 2009 no se han medido concentraciones inferiores a 4 mg l^{-1} en ningún punto del estuario.

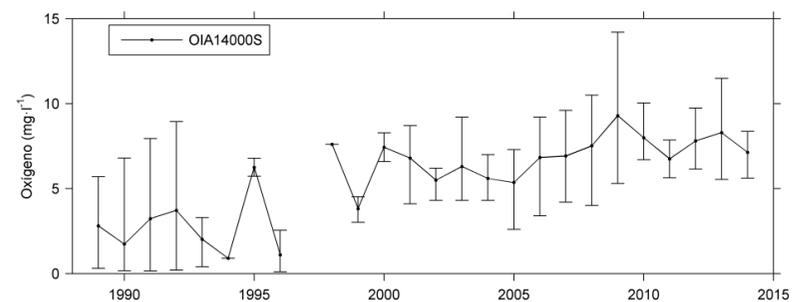
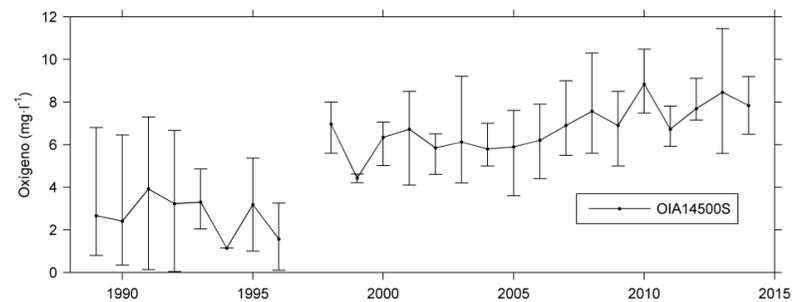
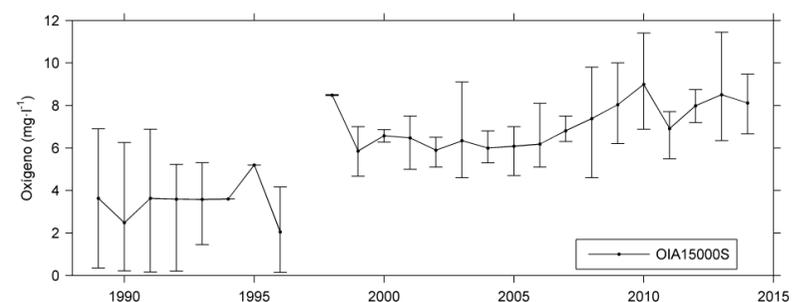
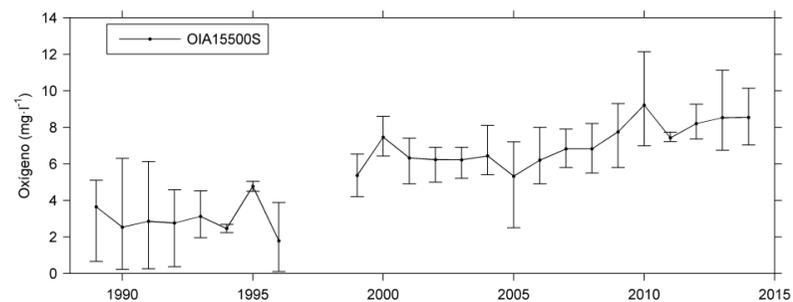
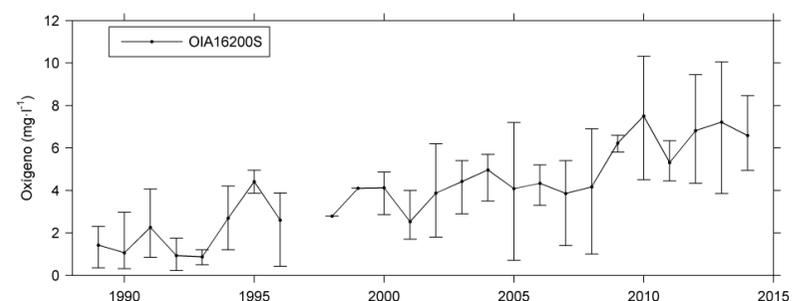
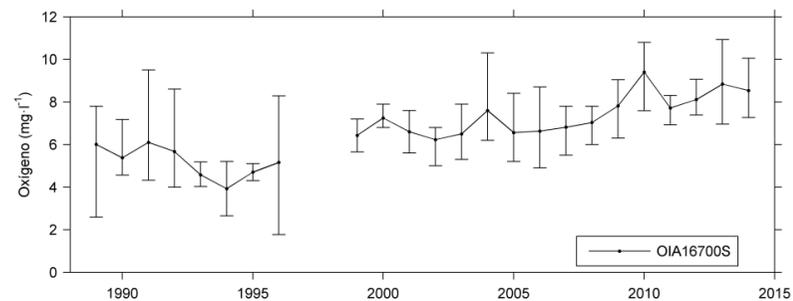


Figura 25. Evolución temporal de las concentraciones medias de oxígeno disuelto en las estaciones del Oiartzun. Las medias son anuales, calculadas con todos los datos tomados en cada estación cada año. Se presentan también, con barras verticales, los intervalos de concentraciones medidas.

En el año 2014 el oxígeno en el estuario del Oiartzun se ha mantenido en el rango de años recientes. Los valores mínimos han presentado un gradiente espacial, de ligero aumento, entre la zona interior (OIA14000S) con $\sim 6 \text{ mg l}^{-1}$, 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 medio en 2014 ha sido $6,6 \text{ mg l}^{-1}$, frente a los $7,1-8,5 \text{ mg l}^{-1}$ de media alcanzada en el resto de las estaciones. Además, en esta estación en verano y comienzos de otoño el oxígeno osciló entre $4,9$ y $6,0 \text{ mg l}^{-1}$, mientras que los valores mínimos nunca han descendido por debajo de 7 mg l^{-1} en la zona exterior del estuario.

Oxígeno en el estuario del Bidasoa

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

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 2014 las condiciones de oxigenación pueden calificarse como buenas, con un valor medio de 10 mg l^{-1} , considerando todas las medidas realizadas en el estuario. Los valores más bajos (cercaos a 7 mg l^{-1}) se han observado en verano y a mediados de octubre, en las zonas media y exterior: en las estaciones BID13300S (Cofradía de Pescadores), BID10350S (Puente de Santiago, Irún) y BID07600S (Puente de Behobia). Los máximos han sido moderados, $11-12 \text{ mg l}^{-1}$.

Aunque, de forma general, los mínimos de oxígeno en los estuarios de Gipuzkoa se suelen observar en la época estival, en el año 2014 se han medido en otoño coincidiendo con temperaturas relativamente altas y poco caudal. Concretamente, entre finales de septiembre y finales de octubre, se han observado concentraciones ligeramente por debajo de 5 mg l^{-1} en el Oiartzun, y entre 5 y 6 mg l^{-1} en el Urola y Oria. En el Urumea y Bidasoa los mínimos han sido cercanos 7 mg l^{-1} , mientras que en el Deba y Río Mijoa han sido ligeramente más altos ($7,5 \text{ mg l}^{-1}$).

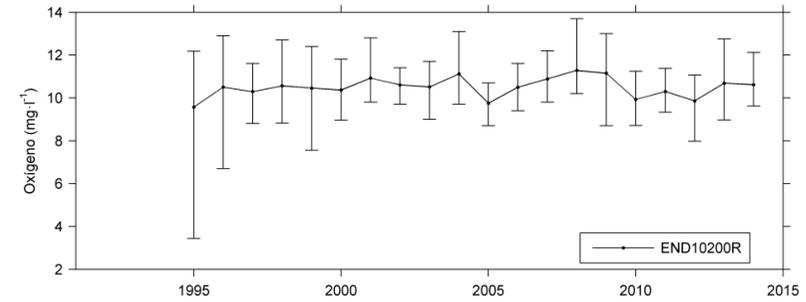
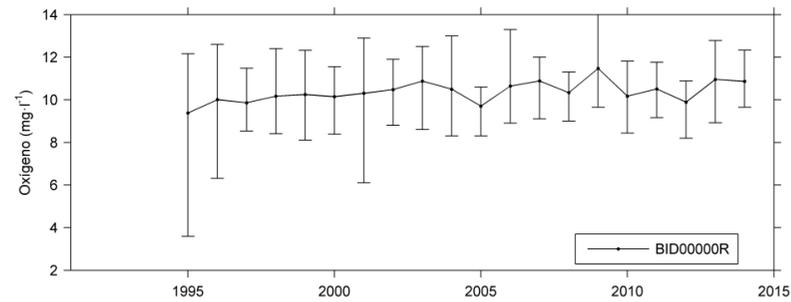
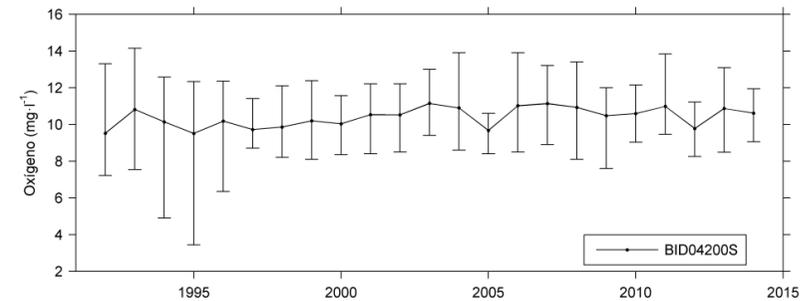
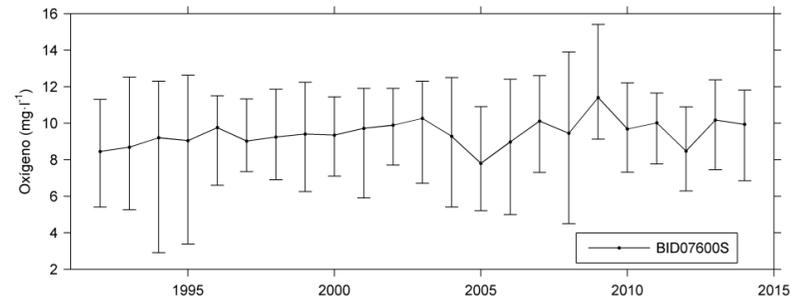
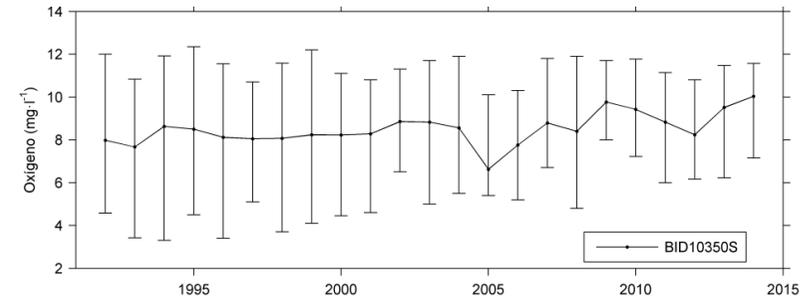
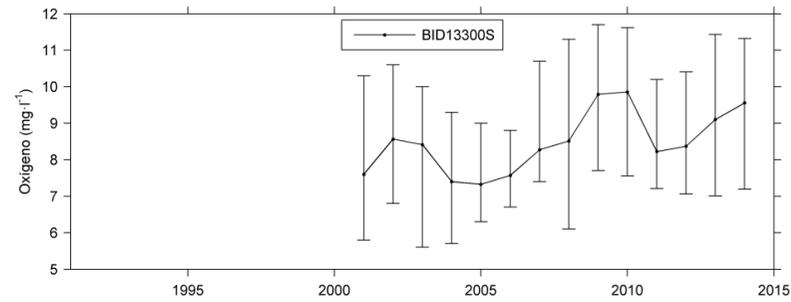


Figura 26. Evolución temporal de las concentraciones medias de oxígeno disuelto en las estaciones del Bidasoa. Las medias son anuales, calculadas con todos los datos tomados en cada estación cada año. Se presentan también, con barras verticales, los intervalos de concentraciones medidas.

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 el presente informe se van a comparar las concentraciones registradas en el último año (2014) 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 μM . En la mayor parte de las muestras los valores están por debajo de 100 μM . Sin embargo, hay casos en los que se han registrado concentraciones muy superiores, normalmente coincidiendo con aguas de salinidad muy baja. Los máximos se han medido en la Regata Molinao (estación MOL00600, de la cuenca del Oiartzun), del orden de 10^3 μM . En esta estación hay pocos datos de amonio (sólo figuran entre 1989 y 2000), pero los registrados superan los máximos históricos de los estuarios del País Vasco (**Tabla 4**, Metodología).

De menor magnitud, pero también importantes, se han registrado picos de amonio en las estaciones situadas en la cabecera del Deba, DEB50000 y DEB51000 (hasta ~ 600 μM) y en la

Regata Añorga (hasta $\sim 900 \mu\text{M}$). En el resto del Oiartzun, así como en el Río Mijoa, en el Urola, Oria y Urumea, el amonio ha estado en la mayoría de los casos por debajo de $200 \mu\text{M}$. 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 $0,1-55 \mu\text{M}$. 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 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 2014

Como puede verse en la **Tabla 11**, durante el año 2014 los valores medios de amonio y fosfato cumplen el objetivo de calidad (estado *Muy bueno* o *Bueno*) en los estuarios principales de Gipuzkoa. Hay que señalar, sin embargo, que no se alcanzó el objetivo en el río Mijoa (Mutriku).

En 2014, en el caso del amonio destaca el río Mijoa (Mutriku) con un valor máximo de $81,7 \mu\text{M}$. Además, en este mismo río, fue habitual encontrar valores de amonio superiores a $55 \mu\text{M}$. Estas concentraciones se aproximan al valor considerado como referencia de mal estado físico-químico por Bald (2005), $63 \mu\text{M}$.

En cuanto al fosfato, aunque los valores medios indican que se cumplen los criterios de calidad ambiental, se han detectado algunos picos indicadores de mal estado. Estos casos se observaron en zonas de carácter prácticamente fluvial, concretamente en el río Mijoa, en el estuario del Deba (Puente F.E.V.E. y Barrio Astigarrabia) y en el estuario del Oria (Puente San Esteban). En 2013 también se detectaron picos similares de fosfato en la cabecera del Deba. Estos casos posiblemente reflejen vertidos esporádicos de aguas residuales (**Tabla 11**).

Tabla 11. Parámetros estadísticos básicos relativos a la concentración de amonio (NH_4) y fosfato (PO_4) en 2014. 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 μM amonio y 14 μM fosfato.

	NH_4 (μM)					PO_4 (μM)				
	Nº Datos	Mín.	Máx.	Promedio	Desv. Est.	Nº Datos	Mín.	Máx.	Promedio	Desv. Est.
Deba	22	1,4	24,4	5,98	4,8	22	0,26	24,32	4,70	5,80
Mutriku	8	8,9	81,7	44,24	28,3	8	0,26	16,63	5,82	6,00
Urola	27	1,4	14,4	3,55	3,3	26	0,26	10,21	2,99	2,80
Oria	21	3,3	24,4	8,28	5,2	21	0,26	12,95	2,45	2,65
Añorga	8	1,4	7,2	3,44	2,1	8	0,26	8,32	3,15	2,70
Urumea	47	1,4	8,9	2,96	1,8	47	0,26	10,00	0,92	1,72
Oiartzun	10	1,4	8,9	2,83	2,4	10	0,26	3,37	0,94	1,25
Bidasoa	32	1,4	5,0	1,67	0,8	32	0,26	3,05	0,88	0,84
TOTAL	175	1,4	81,7	5,7	10,8	174	0,26	24,32	2,21	3,34

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 2014 con las de la **Tabla 4** del apartado de Metodología. Así, dos décadas antes se llegaron a medir máximos de amonio entre 600 y 800 μM y el fosfato alcanzó hasta 42 μM .

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 2014.

Nutrientes en el estuario del Deba

En el Deba (estaciones 4 y 5), la disminución en los valores máximos y medios en la última década ha sido muy notable, lo que indica una mejoría de la calidad del agua (Revilla et al. 2011b).

En cuanto al año 2014, la concentración media de amonio en dichas estaciones está en torno a 7-8 μM y la de fosfato en torno a 5-8 μM (N=6-8). Estos valores están por debajo de la media de la última década en el caso del amonio, y se mantienen sin cambios el caso del fosfato. En base a los

criterios de la **Tabla 6** (Metodología), el fosfato indica cierto grado de eutrofia en la cabecera del estuario. No obstante, si se evalúan también otros elementos además de los nutrientes (concretamente el oxígeno y la clorofila), 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 2014, la concentración media de amonio en dichas estaciones está en torno a 5 μM y la de fosfato es cercana o inferior a 4 μM (N=6-8). Estos valores están en la media de los últimos años e indican un estado físico-químico *Muy bueno* en la cabecera del estuario, en base a los criterios de la **Tabla 6** (Metodología). Sin embargo, la clorofila en la zona oligohalina (estación 5) ha mostrado en casi todos los muestreos realizados en primavera y verano de 2014 valores moderados, lo que indica cierto exceso de biomasa fitoplanctónica en esta zona (véase **Figura 16**). Este exceso, sin embargo, se ha limitado a la zona de cabecera y además, no se han observado problemas de déficit de oxígeno. Por ello, el riesgo de eutrofización en el estuario del Urola se puede considerar que es bajo, al igual que en estudios previos (Revilla et al., 2011c).

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 μM a 25 μM . El fosfato también manifestó un descenso, en años posteriores, pasando el valor medio de unos 4 μM a 3 μM . En la estación situada aguas abajo (Estación 4), el amonio presentó una tendencia de descenso más leve (de unos 25 μM a 20 μM) y el fosfato se mantuvo constante a lo largo de los últimos 20 años, con valores cercanos a 2 μM (Revilla et al. 2011b).

En cuanto al año 2014, la concentración media de amonio en dichas estaciones está en torno a 8-11 μM y la de fosfato a 2-4 μM (N=6-8). Por lo tanto, estos valores son algo inferiores o cercanos a la media de los últimos años.

Si se aplican los criterios de la **Tabla 6** (Metodología), la estación 5 manifiesta, aunque de forma muy esporádica, una alta concentración de fosfato indicadora de malas condiciones físico-químicas. Además, la concentración de clorofila en la zona de cabecera (estación 4) presenta valores muy altos, como se indica en este mismo informe (véase **Figura 17**). No obstante, la clorofila sigue una tendencia decreciente, y aunque hace una década las zonas media e inferior del estuario también tenían un exceso de biomasa, actualmente no se observa este problema.

También, hay que tener en cuenta que las condiciones de oxigenación son buenas en los últimos años, y otros estudios indican que el riesgo de eutrofización en el conjunto del estuario del Oria puede considerarse bajo (Revilla et al., 2011c).

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 en la cuenca. 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.

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 μM , a unos 5 μM). En cuanto al fosfato, únicamente se observó una disminución en la estación estuárica (de valores cercanos a 2 μM , a valores en torno a 1 μM) (Revilla et al. 2011b).

En el año 2014, la concentración media de amonio en dichas estaciones varía entre 2 y 4 μM , mientras que la de fosfato es inferior a 2 μM (N=8). Estos valores están en la media de los últimos años e indican un estado físico-químico *Muy bueno* en la cabecera del estuario, en base a los criterios de la **Tabla 6** (Metodología). Evaluando además el oxígeno y la clorofila, el riesgo de eutrofización en el Urumea se considera bajo, tal y como se señala en este informe y en trabajos previos (Revilla et al., 2011c).

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 μM , a unos 5-10 μM). La concentración media del fosfato en la década de los 90 era cercana a 6 μM , mientras que en la década del 2000 se encuentra en 1 μM (Puente de Rentería) y 2 μM (Puente de Lezo). Estos cambios implican una gran mejoría en la calidad físico-química 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 2014, la concentración media de amonio en dichas estaciones fluviales es inferior o cercana a 5 μM , mientras que la de fosfato es aproximadamente 1 μM (N=4-6). Estos valores

están en la media de los últimos años e indican un estado físico-químico *Muy bueno* en las aguas fluviales que recibe el estuario, en base a los criterios de la **Tabla 6** (Metodología).

Sin embargo, no se han medido concentraciones de nutrientes en zonas estuáricas de baja renovación, como es el caso de la dársena de la Herrera (OIA16200S). En ocasiones, esta zona recibe esporádicamente aguas con alto contenido no sólo en nutrientes, sino también en materia orgánica, por lo que se han venido observando situaciones de hipoxia (véase **Figura 25**). Además la clorofila indica que la biomasa fitoplanctónica es elevada en esa zona (véase **Figura 19**). En otros estudios el riesgo de eutrofización del estuario del Oiartzun también se considera alto, debido a los problemas que presentan los nutrientes y el oxígeno en las zonas de baja renovación (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 μM , a valores en torno a 3 μM . En cuanto al fosfato, éste no parece haber variado durante los últimos 20 años, estando en torno a 1 μM (Revilla et al. 2011b).

En el año 2014 la concentración media de amonio en dichas estaciones es 2 μM , mientras que la de fosfato es 1 μM , aproximadamente (N=5-8). Estas condiciones son típicas de aguas en estado físico-químico *Muy bueno* (**Tabla 6**). Además, el índice de clorofila no indica problemas de exceso de biomasa y las condiciones de oxigenación son muy buenas en el estuario (véanse **Figura 20** y **Figura 26**).

No obstante, 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.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del conjunto de actividades de muestreo y seguimiento de los seis estuarios principales de Gipuzkoa durante el año 2014, 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 en total 24 campañas de muestreo. Las concentraciones en 2014 estuvieron en el rango de las medidas en años anteriores (desde 1998).
- 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 estudiar 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 son los que presentan las mayores concentraciones de clorofila en la serie histórica (con valores de percentil 90 en las estaciones de cabecera cercanos a $60 \mu\text{g l}^{-1}$). Esto se debe, en parte, 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 bajo caudal, que habrían favorecido la retención del fitoplancton en el estuario. En ambos estuarios, el percentil 90 de la clorofila tiende a descender en los últimos años.
- 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 del Oiartzun y del Bidasoa. En estos estuarios, los máximos pueden encontrarse en aguas polihalinas (salinidad entre 18 y 30 PSU) y euhalinas (salinidad entre 30 y 35 PSU).
- En general se observa una tendencia a la disminución en los picos de clorofila en los estuarios de Gipuzkoa a lo largo de los últimos 12-15 años, lo que indica que la calidad de las aguas ha mejorado desde el punto de vista de la eutrofización. Como excepción, hay que señalar la zona de la dársena de la Herrera en el estuario del Oiartzun, donde la clorofila tiende a aumentar. Además, se ha observado un repunte de la clorofila en la cabecera del estuario del Urola, con concentraciones en el rango de 30-40 $\mu\text{g l}^{-1}$ durante la mayoría de los muestreos realizados en 2014. No obstante, esta podría ser una situación transitoria y quizá relacionada con las condiciones de bajo caudal y altas temperaturas que caracterizaron la época estival y buena parte del otoño. Además, los nutrientes y el oxígeno medidos en 2014 no indican que haya habido problemas de eutrofización en dicha zona.
- En cuanto al **oxígeno disuelto**, se dispone de una serie temporal muy extensa, de más de 20 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 las dos últimas décadas 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.
- En 2014, en general, siguen observándose buenas condiciones de oxigenación a lo largo de los estuarios de Gipuzkoa. Ésta ha sido la situación habitual en los últimos seis años, cuando ya es difícil observar concentraciones por debajo de 5 mg l^{-1} en las estaciones de muestreo. Como excepciones se pueden citar en los últimos años valores en torno a 4 mg l^{-1} , durante épocas de estiaje en la Regata Añorga, en la zona superior del Urola (Puente Saburutx) y en la dársena de la Herrera. Esta última presenta generalmente peores condiciones de oxígeno que el resto de las zonas estudiadas.
- En los últimos años se observan tendencias crecientes en la concentración de oxígeno disuelto en los seis estuarios. Estas tendencias pueden ser explicadas, en buena parte, 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 son, en los últimos años, de menor magnitud, lo cual parece relacionado con las actuaciones de saneamiento llevadas a cabo desde la primera mitad de 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. En 2001 se observa un ligero descenso del oxígeno en casi todos los estuarios, que podría deberse a fluctuaciones naturales relacionadas con la meteorología (descenso de las precipitaciones).
- En cuanto a los **nutrientes** que más se relacionan con la presión antrópica (**amonio y fosfato**) los valores medios de 2014 son característicos de *muy buen* o *buen* estado físico-químico en las zonas de cabecera de los seis estuarios principales. Esto refleja el efecto del saneamiento efectuado en las cuencas en años recientes. No obstante, de manera ocasional se observan todavía picos que indican vertidos de aguas residuales. Por ejemplo, en el Río Mijoa (para el amonio y el fosfato) y en los estuarios del Deba y el Oria (para el fosfato).
- 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 tendencia a la retención del agua, lo que les hace más susceptibles a la eutrofización.
- **Para trabajos sucesivos** se recomienda que los **muestreos de clorofila** se realicen 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 la toma de muestras durante 2015.

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.
- 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 de la Fundación AZTI Tecnalia 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. Núm. 19, pp. 6854-6870.
- 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. Núm. 137, pp. 43501-43601.
- Borja, A., M. J. Belzunce, R. Castro, Franco. J., F. Villate, V. Perez, 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 de la Fundación AZTI-Tecnalia para Agencia Vasca del Agua- Uraren Euskal Agentzia, 193 pp.
- Borja, A., J. Bald, M.J. Belzunce, J. Franco, J.M. Garmendia, J. Larreta, I. Muxika, M. Revilla, J.G. Rodríguez, O. Solaun, A. Uriarte, V. Valencia, I. Zorita, I. Adarraga, F. Aguirrezabalaga, I. Cruz, A. Laza, M.A. Marquiegui, J. Martínez, E. Orive, J.M^a Ruiz, S. Seoane, J.C. Sola, A. Manzanos, 2010. Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Informe de AZTI Tecnalia 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.
- 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 de la Fundación AZTI Tecnalia 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., Bricker S., Revilla, M., Borja, A., Franco, J., Bald, J., Valencia, V. 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, and 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 de la Fundación AZTI Tecnalia para el Departamento de Desarrollo Sostenible, Diputación Foral de Gipuzkoa. 45 pp.

- Muxika, I., Á. Borja, J.M. Garmendia, J. Franco, I. Menchaca, O. Solaun, V. Valencia, 2012. Estudio ambiental de la zona costera de Mompás y de los estuarios de los ríos Oiartzun y Urumea (años 2011-2012). Informe final elaborado por AZTI Tecnalia para el Dpto. de Desarrollo Sostenible, Diputación Foral de Gipuzkoa, y para Aguas del Añarbe. 148 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, vol 70. Elsevier, Amsterdam, pp367–393.
- Revilla, M., Garmendia, M., Franco, J., Borja, Á., 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 de la Fundación AZTI Tecnalia 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 de la Fundación AZTI Tecnalia 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 de la Fundación AZTI-Tecnalia 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 de la Fundación AZTI Tecnalia para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Diputación Foral de Gipuzkoa. 54 pp.
- Revilla, M., I. Muxika, Valencia, V. 2013. Análisis de la calidad del agua e informe anual del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2013. Informe de la Fundación AZTI-Tecnalia para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Diputación Foral de Gipuzkoa. 64 pp.
- SCOR-UNESCO, 1980. Determination of chlorophyll in seawater. Report of the intercalibration tests. *UNESCO Technical Papers in Marine Science*, n° 35, 20 pp.
- Strickland, J. D. H., T. R. Parsons, 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Fisheries Research Board of Canada Bulletin*, 167 (2nd edition). Ottawa.
- URA, 2014. Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental para el ámbito de las Cuencas Internas del País Vasco (Revisión 2015-2021). <http://www.uragentzia.euskadi.eus/informacion/>.
- Valencia, V., Franco, J., Borja, Á., Fontán, A. 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.
- Valencia, V., Borja, A., Franco, J., Galparsoro, I., Tello, E., 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. Ducrottoy (editores), Olsen & Olsen: 97-104.
- Weiss, R. F. 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep-sea Res.* 17, 721-735.