

## **Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku – 2017**

Para:

Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas,  
Diputación Foral de Gipuzkoa

**Gipuzkoako  
Foru Aldundia**  
Diputación Foral  
de Gipuzkoa



ORAIN  
**GIPUZKOA**

**Pasaia, 16 de Octubre de 2017**

<b>Tipo documento</b>	Informe final
<b>Título documento</b>	Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku - 2017
<b>Fecha</b>	16/10/2017
<b>Cliente</b>	Dpto. de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas, Diputación Foral de Gipuzkoa
<b>Código</b>	IM17Isuria
<b>Equipo redactor</b>	Dr. Iñigo Muxika Dra. Almudena Fontán Dra. Marta Revilla
<b>Responsable proyecto</b>	 Dr. Iñigo Muxika
<b>Revisado por</b>	 Dr. Juan Bald Garmendia Coordinador del Área de Gestión Ambiental de Mares y Costas
<b>Fecha</b>	16/10/2017

---

Si procede, este documento deberá ser citado del siguiente modo:

Muxika, I., Fontán, A. y Revilla, M., 2017. Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku - 2017. Informe para Dpto. de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas, Diputación Foral de Gipuzkoa. 37 pp.

## ÍNDICE

1. AGRADECIMIENTOS.....	4
2. ANTECEDENTES.....	5
3. OBJETIVOS .....	6
4. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS Y METODOLOGÍA .....	7
4.1 Columna de agua .....	9
4.1.1 Perfiles verticales continuos de variables oceanográficas.....	9
4.1.2 Análisis de las muestras de agua .....	9
4.2 Estudio de sedimentos .....	11
4.2.1 Potencial redox.....	11
4.2.2 Granulometría.....	11
4.2.3 Materia orgánica .....	11
4.2.4 Metales pesados .....	11
5. RESULTADOS.....	13
5.1 Columna de agua .....	13
5.1.1 Temperatura y salinidad .....	13
5.1.2 Oxígeno disuelto y pH.....	15
5.1.3 Clorofila.....	16
5.1.4 Sólidos en suspensión y propiedades ópticas.....	16
5.1.5 Microbiología .....	17
5.1.6 Nutrientes disueltos, totales y carbono orgánico total.....	18
5.2 Sedimentos.....	19
5.2.1 Caracterización sedimentológica .....	19
5.2.2 Contenido en metales pesados .....	21
6. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES.....	23
7. BIBLIOGRAFÍA .....	25
8. ANEXO I. DATOS HIDROGRÁFICOS.....	27

## 1. AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de numerosas personas. Por ello, vayan estas líneas de agradecimiento a todas ellas.

Maite Cuesta se encargó de la preparación del material de muestreo. Ekaitz Erauskin y Lander Larrañaga llevaron a cabo las labores de muestreo. Luis Cuesta se encargó de la preparación del CTD y del procesado de datos.

Los análisis de laboratorio fueron realizados por Beatriz Beldarrain, Goretti García, e Irene Gómez, analistas de la Unidad de Investigación Marina (UIM) de AZTI, y por Joana Larreta, investigadora de la UIM. Los análisis microbiológicos fueron realizados por Ainara García, analista de la Unidad de Investigación Alimentaria de AZTI.

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

## 2. ANTECEDENTES

En invierno de 2009, el Departamento para el Desarrollo Sostenible de la Diputación Foral de Gipuzkoa, a petición de la Agencia Vasca del Agua, solicita a la Unidad de Investigación Marina de AZTI la realización de controles anuales en periodo estival de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku.

En respuesta a dicha solicitud, los veranos entre 2009 y 2016 se llevaron a cabo sucesivos controles, cuyos resultados se analizaron en los correspondientes informes enviados los días 20 de noviembre de 2009 (Fontán *et al.*, 2009), 25 de octubre de 2010 (Muxika y Valencia, 2010), 21 de octubre de 2011 (Muxika y Valencia, 2011), 15 de octubre de 2012 (Muxika y Valencia, 2012), 22 de octubre de 2013 (Muxika y Valencia, 2013), 14 de octubre de 2014 (Muxika y Valencia, 2014), 21 de octubre de 2015 (Muxika *et al.*, 2015) y 26 de octubre de 2016 (Muxika *et al.*, 2016).

El presente informe da cuenta de los resultados obtenidos en la campaña realizada en verano de 2017.

### 3. OBJETIVOS

El presente estudio tiene como objetivo general la realización de un control anual en periodo estival de las aguas receptoras en las zonas costeras de Getaria y de Mutriku, para evaluar la posible influencia de los correspondientes vertidos. Los resultados obtenidos en las zonas afectadas se compararán con los de sendas estaciones de referencia, representativas, pero no afectadas por los vertidos, para la valoración final de dichos resultados.

En particular, los objetivos que se persiguen son los siguientes:

- Realización de las labores de muestreo y análisis para aportar la información necesaria para realizar el control, en época estival, de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku.
- Estudio de sedimentos de zona de influencia de los vertidos.
- Estudio y valoración los resultados obtenidos y elaboración del correspondiente informe anual.

En particular, las tareas concretas de las acciones contempladas en las distintas partes del presente informe son:

- Realización de perfiles verticales mediante CTD para determinar pH, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y profundidad.
- Toma de muestras en superficie (entre 0,5 m y 1 m de profundidad) para el análisis de los siguientes parámetros: pH, salinidad, turbidez, sólidos en suspensión, amonio, nitritos, nitratos, nitrógeno total, fósforo total, carbono orgánico total, coeficiente de absorción espectral, clorofila total y *Escherichia coli*.
- Toma de muestras de sedimento con el fin de determinar las características generales del sedimento (composición granulométrica, contenido en materia orgánica, potencial redox y metales pesados).

#### 4. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS Y METODOLOGÍA

Para el muestreo, realizado el 29 de agosto de 2017, se utilizó una embarcación neumática "ASTEC PB-800", de quilla rígida, preparada para muestreos en aguas someras, con las siguientes características:

- Eslora: 7,99 m
- Manga: 3,30 m
- Dos motores fueraborda de 150 Hp cada uno
- Cabrestante hidráulico con 250 m de cable para manejo de instrumental oceanográfico
- Sonda-GPS-Plotter GARMIN-GPS MAP 721XS

El control anual en periodo estival de las aguas receptoras se ha llevado a cabo en las mismas estaciones de muestreo en las zonas costeras de Getaria (3 estaciones) y de Mutriku (3 estaciones) que las pasadas campañas de 2009 a 2016, suficientemente representativas de la posible influencia de los correspondientes vertidos. Las estaciones están ubicadas aproximadamente a 50 m, 100 m y 200 m del punto de vertido en Mutriku y, en Getaria, a 100 m, 200 m y 400 m del punto de vertido. Asimismo, se han propuesto 2 estaciones de referencia, una por cada zona, suficientemente alejadas de los puntos de vertido como para que se encuentren fuera del área de influencia de los mismos (Figura 1). Dichas estaciones coinciden con dos de las estaciones de muestreo de la "Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la Comunidad Autónoma del País Vasco" (Borja *et al.*, 2017): L-O20 (en adelante, GREF) en Getaria y L-D10 (en adelante, MREF) en Mutriku. Dichas estaciones pueden considerarse representativas de la zona y, además, se dispone de una serie importante de perfiles de temperatura y otras variables en estas estaciones que pueden servir como referencia adicional en la evaluación de los resultados ante posibles anomalías. En la Tabla 1 se recogen las coordenadas geográficas de las estaciones propuestas.

La comparación de los resultados obtenidos en la zona afectada con los de una estación de referencia, representativa pero no afectada, resulta la herramienta más directa y útil para la evaluación de dichos resultados.



Figura 1. Situación de los puntos de vertido y de las estaciones de muestreo en las zonas costeras de Getaria y Mutriku.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo.

ESTACIÓN		ETRS89 (UTM-30N)	
		X (m)	Y (m)
<b>G100</b>	Estación a 100 m del punto de vertido (Getaria)	565009	479524 9
<b>G200</b>	Estación a 200 m del punto de vertido (Getaria)	565094	4795292
<b>G400</b>	Estación a 400 m del punto de vertido (Getaria)	565261	4795414
<b>GREF (L-O20)</b>	Estación de referencia (Getaria)	566485	4797494
<b>M50</b>	Estación a 50 m del punto de vertido (Mutriku)	550283	4795246
<b>M100</b>	Estación a 100 m del punto de vertido (Mutriku)	550321	4795278
<b>M200</b>	Estación a 200 m del punto de vertido (Mutriku)	550393	4795347
<b>MREF (L-D10)</b>	Estación de referencia (Mutriku)	552501	4796395

## 4.1 Columna de agua

### 4.1.1 Perfiles verticales continuos de variables oceanográficas

Los perfiles continuos de temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, penetración de la luz y clorofila por fluorescencia en las estaciones de muestreo se realizaron mediante un CTD SEABIRD SBE-25, equipado con sensores auxiliares, cuyas especificaciones se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Especificaciones de los sensores del CTD. clor.= clorofila.

Sensor	Nombre	Resolución	Precisión
Temperatura	SBE 25-01 Sealogger	0,0003 <sup>º</sup> C	0,01 <sup>º</sup> C
Salinidad	SBE 25-01 Sealogger	0,00004 S•m <sup>-1</sup>	0,004 USP
pH	SBE 25-01 Sealogger	---	0,01 u
O <sub>2</sub> disuelto	SBE 25-01 Sealogger	---	0,03 ml•L <sup>-1</sup>
Fluorescencia (clor.)	Sea -Tech	0,001 U.A.F.	0,02 µg•L <sup>-1</sup>
Transmitancia	Sea -Tech (25 cm)	0,01%	0,1%
Radiación PAR	LI-COR	0,001 µmol•s <sup>-1</sup> •m <sup>-2</sup>	0,1 µmol•s <sup>-1</sup> •m <sup>-2</sup>

Cabe destacar que, debido a que durante el muestreo realizado en la estación M200 en Mutriku se produjeron fallos en la estabilización de los sensores en superficie, se han descartado los datos de clorofila y transmisión de luz en la columna de agua y de oxígeno disuelto en los primeros 3 metros de profundidad.

### 4.1.2 Análisis de las muestras de agua

Por otra parte, en cada estación se recogió una muestra a 0,5-1 m de profundidad. En las muestras recogidas se llevaron a cabo análisis para determinar turbidez, color y coeficiente de absorción espectral, sólidos en suspensión, amonio, nitrito, nitrato, nitrógeno total, fósforo total, carbono orgánico total y *E. coli*. A continuación, se expone la metodología de análisis para cada variable.

#### 4.1.2.1 Nutrientes

Se analizaron los nutrientes disueltos amonio, nitrito y nitrato, utilizando un Autoanalizador TECHNICON-BRAN+LUEBBE AAIII multicanal. Los métodos colorimétricos utilizados fueron, con ligeras modificaciones, los descritos en GRASSHOFF *et al.* (1983) para análisis automático de nutrientes en agua de mar. Adicionalmente, en el mismo sistema pentacanal se determinaron fosfato y silicato.

Con objeto de solicitar la certificación por ENAC del método de análisis de nutrientes disueltos, se han realizado ajustes en el rango de análisis de los distintos nutrientes. Los límites de cuantificación (LC) considerados son 1,60 µmol•L<sup>-1</sup> para amonio, nitrato y silicato; 0,40 µmol•L<sup>-1</sup> para nitrito; y 0,16 µmol•L<sup>-1</sup> para fosfato. Aunque pueden detectarse concentraciones inferiores a los LC señalados, todos los valores por debajo de dichos límites se presentarán como “menor de” los límites respectivos.

---

Las submuestras para el análisis de nutrientes se tomaron directamente de las botellas NISKIN utilizadas en el muestreo y se preservaron por refrigeración severa, sin llegar a congelación, mantenidas en oscuridad.

#### *4.1.2.2 Turbidez*

En cada una de las muestras se midió la turbidez con un turbidímetro HACH 2100A calibrado con formazina en el rango necesario para cada muestra. Esto permite una precisión de  $\pm 2\%$  de la lectura, con un límite de detección esperado menor de 0,05 NTU. El método utilizado es acorde con la Norma ISO 7027:1990. Las medidas se efectuaron en un intervalo inferior a 24 h tras la toma de muestras.

#### *4.1.2.3 Color y Coeficiente de Absorción Espectral*

En cada una de las muestras, previamente filtradas, se midió el color en la escala Platino-Cobalto y el coeficiente de absorción espectral (CAE) mediante un espectrofotómetro VIS-UV. Se utilizó un método simplificado referible a la Norma ISO 1887:1994. Se utilizaron cubetas de 1 cm de camino óptico y, para comparación con otras series de datos, las mediciones principales se realizaron a longitudes de onda entre 436 nm y 460 nm, en las que se mide el color. Adicionalmente se realizaron mediciones de absorbancia a longitudes de onda entre 250 nm y 300 nm, en las que, en algunos casos, es posible distinguir el grado de depuración o desaparición de sustancias orgánicas biodegradables.

#### *4.1.2.4 Sólidos en suspensión*

Se filtró una submuestra, de al menos 1 L, sobre un filtro Whatman GF/C de 47 mm de diámetro previamente pesado. El filtro con los sólidos se secó a 105° C durante 24 h y se pesó nuevamente para el cálculo de los sólidos totales. Para las pesadas se utilizó una balanza con resolución de  $10^{-5}$  g, lo que garantiza una precisión de 0,5 mg L<sup>-1</sup>.

#### *4.1.2.5 Nitrógeno y fósforo totales*

El nitrógeno y fósforo presentes en las muestras se oxidaron *on line* utilizando un Autoanalizador TECHNICON-BRAN+LUEBBE AAIII multicanal. La oxidación, hasta nitrato y fosfato respectivamente, se realizó por vía química, con persulfato, utilizando calor y radiación ultravioleta como aceleradores. El nitrato y fosfato resultantes se determinaron por los métodos antes descritos.

#### *4.1.2.6 Carbono orgánico total*

Este análisis se efectuó mediante un analizador SHIMADZU-5000 sobre muestras aciduladas. Tras el purgado del carbono inorgánico, el análisis del carbono orgánico se realizó por combustión catalítica (PtAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) en tubo de cuarzo. El dióxido de carbono producido se determinó por detección mediante infrarrojo no dispersivo.

#### 4.1.2.7 Análisis microbiológicos

Este análisis se efectuó mediante la Norma UNE-EN ISO 9308-1:2000 para calidad del agua: Detección y recuento de *E. coli*, por el método de filtración en membrana. El medio de cultivo empleado fue el Tergitol. La incubación se llevó a cabo a  $44 \pm 1^\circ$  C durante 24 horas.

## 4.2 Estudio de sedimentos

Se muestreó una estación por cada zona, ubicada a 400 m del punto de vertido en Getaria (G400) y a 200 m del punto de vertido en Mutriku (M200), mediante muestreo directo, con objeto de determinar las características generales del sedimento: composición granulométrica, contenido en materia orgánica, potencial redox y metales pesados.

### 4.2.1 Potencial redox

Se determinó en campo, inmediatamente después de la toma de las muestras. Para ello, se empleó un electrodo de platino con referencia interna, conectado a un pHmetro/milivoltímetro digital, calibrado con un sistema redox patrón (Ferricianuro/Ferrocianuro en cloruro potásico).

La resolución de esta medida es de  $\pm 1$  mV.

### 4.2.2 Granulometría

Para el estudio de la composición granulométrica se utilizaron submuestras de 200 g. Una vez secas a  $105^\circ$  C, las muestras se tamizaron a través de una columna de siete tamices con intervalos de  $1 \Phi$ , desde 4 mm hasta 0,063 mm, en tandas de 30 min hasta obtener una fracción fina inferior a 0,5 g. Después, se pesó cada fracción, según la metodología expuesta por Holme y McIntyre (1971).

### 4.2.3 Materia orgánica

El contenido en materia orgánica se estimó por medida de la pérdida de peso por ignición. Se tomaron 30 g de sedimento secado previamente a  $105^\circ$  C y convenientemente homogeneizado para evitar agregaciones y heterogeneidad. Éstos se calcinaron a  $450^\circ$  C durante 6 h. La diferencia entre peso seco y calcinado con respecto al peso inicial se tomó como índice del contenido en materia orgánica del sedimento.

### 4.2.4 Metales pesados

Las analíticas de metales pesados tanto en sedimentos como en biomonitores fueron realizadas por los laboratorios acreditados de IPROMA (Nº Acreditación 103/LE2689). Se determinaron las concentraciones de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb y Zn.

Para ello, las muestras de sedimento se secaron en la estufa a 60° C durante 48 h y se tamizaron. Se analizó únicamente la fracción de tamaño de partícula inferior a 63 µm, la fracción más habitual de las empleadas en los análisis de metales en sedimentos (Loring y Rantala, 1992).

Aproximadamente 1 g de sedimento seco se trató con ácido nítrico en un microondas de alta presión, donde se realiza la digestión de las muestras a temperatura y presión controladas, y, tras el proceso de digestión, se obtiene una solución líquida en la que todos los metales están extraídos. Esta solución es la que se analiza por espectroscopia de fluorescencia atómica (FAS) para el Hg y por plasma de acoplamiento inductivo de emisión óptica (ICP-MS) para el resto de los metales.

A fin de comprobar la correcta digestión de todas las muestras incluidas en el carrusel de trabajo, en cada serie de digestión se incluye un material de referencia de concentración conocida y certificada con trazabilidad a un organismo de certificación internacional (CRM 399) y un patrón conocido como control interno del método.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Columna de agua

El control anual en periodo estival se concretó el 29 de agosto de 2017. Los datos originales resultantes de los perfiles de CTD se presentan en el **Anexo I** en forma de listados tabulados que recogen los valores de cada variable para cada estación a intervalos de 1 m de profundidad.

Asimismo, en la Tabla 3 se presentan los datos extraídos del CTD en superficie junto con los valores de color, coeficiente de absorción espectral, turbidez, sólidos en suspensión, *E. coli* y nutrientes, determinados en las muestras de superficie.

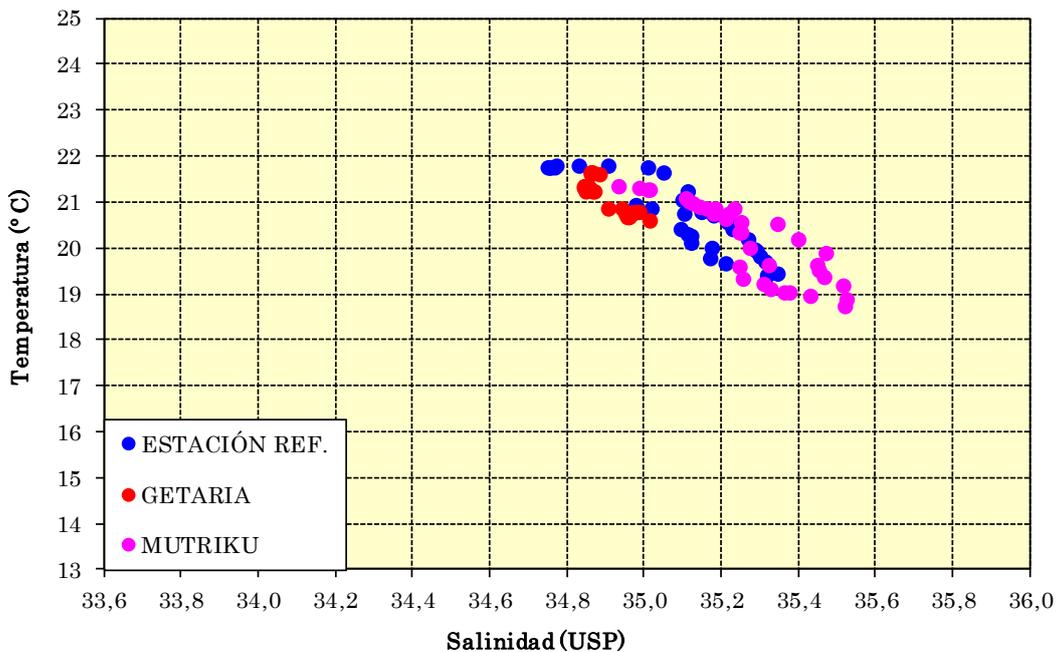
**Tabla 3.** Datos extraídos del CTD en superficie (0-0,5 m) junto con valores de turbidez y resultados de los análisis efectuados sobre las muestras de agua, correspondientes a la campaña del 29 de agosto de 2017. Secchi: profundidad de visión del disco de Secchi; SS: sólidos en suspensión; CAE: coeficiente de absorción espectral; *E. coli*: *Escherichia coli*; NT: nitrógeno total; PT: fósforo total; COT: carbono orgánico total. ND: No Disponible.

Estación	G100	G200	G400	GREF	M50	M100	M200	MREF
Profundidad (m)	5	12	16	21	9	14	15	15
Temperatura (° C)	21,27	21,30	21,59	21,74	21,05	20,86	21,31	20,88
Salinidad (USP)	34,854	34,853	34,869	34,779	35,116	35,154	34,939	34,984
Transmitancia (%)	84	84	83	85	80	82	ND	80
Secchi (m)	5	11	11	13	9	9	11	11
Turbidez (NTU)	0,43	1,13	0,49	0,38	0,55	0,94	0,59	0,83
SS (mg·L <sup>-1</sup> )	2,21	3,03	1,95	1,14	1,90	2,34	6,31	2,04
Color (mg <sub>pt</sub> ·L <sup>-1</sup> )	8,29	3,48	3,40	19,28	8,35	15,36	13,28	11,29
CAE (m <sup>-1</sup> )	0,28	0,12	0,11	0,64	0,28	0,51	0,44	0,38
Clorofila "a" (µg·L <sup>-1</sup> )	0,45	0,45	0,46	0,42	0,59	0,53	ND	0,43
O <sub>2</sub> disuelto (mL·L <sup>-1</sup> )	5,01	5,02	5,05	5,06	4,76	4,85	ND	4,83
Saturación de O <sub>2</sub> (%)	99	99	101	101	94	96	ND	95
pH	7,98	8,04	8,07	8,09	8,05	8,06	8,09	8,06
<i>E. coli</i> (ufc·100 mL <sup>-1</sup> )	31	17	21	20	300	600	12	21
Amonio (µmol·L <sup>-1</sup> )	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	2,0	<1,60	<1,61
Nitrito (µmol·L <sup>-1</sup> )	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Nitrato (µmol·L <sup>-1</sup> )	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	9,20	13,65	3,15	4,05
NT (µmol·L <sup>-1</sup> )	9,2	9,8	9,3	8	21	28	12	13
Fosfato (µmol·L <sup>-1</sup> )	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16	0,70	1,05	0,20	0,25
PT (µmol·L <sup>-1</sup> )	0,6	0,65	0,65	0,5	1,5	1,95	0,7	0,8
Silicato (µmol·L <sup>-1</sup> )	1,90	2,20	1,60	1,85	2,65	3,65	2,20	2,55
COT (µmol·L <sup>-1</sup> )	91	105	94	63	111	98	90	97

#### 5.1.1 Temperatura y salinidad

La temperatura y la salinidad son los descriptores fundamentales de las masas de agua de mar. Por una parte, la temperatura marca el ciclo estacional de las aguas y define el grado de estratificación en la columna de agua. En las aguas litorales sometidas a aportes de agua de origen continental, el valor de la salinidad define el porcentaje de las aguas de origen no marino que se mezclan en la zona costera. Por otra parte, condiciona la distribución de muchas variables y propiedades de las aguas que, de forma más o menos directa, dependen de estas proporciones.

La forma más directa de observar la distribución de estas variables es mediante un diagrama de temperatura y salinidad (diagrama TS) en el que se representan los pares de valores de estas variables para cada profundidad de medida y para cada serie de puntos de muestreo. En la Figura 2 se representan los pares de valores de todas las estaciones agrupadas para cada una de las áreas de muestreo.



**Figura 2.** Diagrama TS correspondiente a la campaña de muestreo realizada el 29 de agosto de 2017 en Getaria y Mutriku. Los círculos azules corresponden a las estaciones de referencia de ambas áreas.

En el diagrama puede observarse una situación típicamente estival acorde con las condiciones atmosféricas registradas en los días precedentes al muestro, con temperaturas normales para la época y ligeras precipitaciones. A pesar de las irregularidades observadas en el diagrama TS, la distribución de los puntos de los niveles superficiales correspondientes a las estaciones de control se solapa y se alinea con la de los puntos correspondientes a las estaciones de referencia, lo que indica condiciones generales muy similares y procesos de mezcla simple entre estaciones y niveles. Las excepciones más destacables se dan en los niveles más profundos de las estaciones de referencia, principalmente en Getaria, donde se intensifican los gradientes de disminución de la temperatura y de incremento de la salinidad.

A pesar de estas salvedades, en las aguas superficiales de todas las estaciones se registraron temperaturas muy similares (unos 21,3 °C) y valores de salinidad también muy homogéneos (34,9 USP, aproximadamente), que corresponden a aguas ligeramente más saladas que las de la campaña de 2016.

Por la parte de los mínimos de temperatura y los máximos de salinidad, puede apuntarse también la presencia de aguas con temperatura no inferior a 18,5 °C, pero más de 35,5

---

USP de salinidad, a pesar de no haber llegado a mucha profundidad, lo que indica una estratificación termohalina menos marcada que en 2016.

De modo similar a lo señalado para los controles de años precedentes, la situación registrada resulta coherente con las condiciones meteorológicas recientes. Se observa un patrón de distribución sin gradientes de salinidad muy definidos y con un porcentaje de agua dulce del orden del 1,7% en los registros superficiales de ambas zonas. Nuevamente, no se aprecian diferencias destacables respecto a las estaciones de referencia.

En este sentido, como en años anteriores, algunas de las diferencias que se verán más adelante se relacionan más con el efecto de plumas y variabilidad a pequeña escala (*patches*), que con diferencias en los aportes de agua de origen fluvial o de vertidos de aguas continentales, que pudieran afectar a una extensión o a un espesor importante de la columna de agua.

En resumen, puede señalarse que las condiciones hidrográficas registradas resultan representativas de la zona de estudio y de la época de muestreo. También resultan acordes con las condiciones hidrometeorológicas precedentes y, con los matices señalados, son comparables a las obtenidas en las campañas estivales de años anteriores.

### 5.1.2 Oxígeno disuelto y pH

Como en otras campañas, las principales discontinuidades se asocian a cambios de temperatura y al efecto de esta variable en la solubilidad del O<sub>2</sub>. Esto se traduce en menores porcentajes de saturación en Mutriku, asociados a la presencia de aguas algo más frías y a la influencia de esta variable en la solubilidad del O<sub>2</sub> y, por tanto, en el porcentaje de saturación. De todos modos, sin que lleguen a darse valores de sobresaturación como en verano de 2015, puede considerarse que las aguas de las zonas de control presentan un grado de saturación que no indica un déficit importante de O<sub>2</sub> disuelto y que resulta acorde con las condiciones hidrográficas registradas.

En general, la distribución del O<sub>2</sub> disuelto registrada en el presente muestreo resulta similar a la observada en algunas campañas anteriores y, en términos del porcentaje de saturación, predomina la asociación con temperatura y salinidad, con bastante homogeneidad en la medida en que no se han registrado rangos amplios de dichas variables. Así pues, a pesar de estos matices y de las ligeras diferencias señaladas para las dos zonas, la distribución de O<sub>2</sub> disuelto aparece poco influenciada por otras variables como la concentración de clorofila, la concentración general de nutrientes o la relación entre la concentración de las formas oxidadas y reducidas de los nutrientes nitrogenados o la concentración de carbono orgánico. Además, teniendo en cuenta los objetivos de calidad establecidos para aguas costeras en el actual Plan Hidrológico (URA, 2015; BOE, 2016), los valores de saturación de oxígeno corresponden a un estado fisicoquímico muy bueno ( $\geq 95\%$ ) o bueno (85-95%).

Entre las variables citadas anteriormente, la concentración y la distribución de clorofila también se relacionan con el O<sub>2</sub> disuelto y con el pH, en la medida en que el balance entre la fotosíntesis y la respiración modifica la concentración de O<sub>2</sub>, y el equilibrio del carbónico y los carbonatos en el agua de mar.

En todas las estaciones de ambas zonas la concentración de clorofila en las aguas superficiales es baja o muy baja, con valores que pueden considerarse residuales, aunque normales para la época estival. También la distribución vertical de la clorofila es homogénea en todas las estaciones y, por tanto, no se observa ningún máximo subsuperficial de clorofila. Aparte de por el carácter somero de las estaciones de control, la baja definición del máximo subsuperficial de clorofila resulta acorde con la estratificación termohalina.

El pH, además de los factores bióticos antes señalados, depende principalmente de la alcalinidad específica del agua de mar y, por tanto, de la salinidad. De modo similar a lo apuntado en las campañas de verano anteriores, la distribución de los valores de pH resulta acorde con las condiciones hidrográficas y con las diferencias apuntadas en la distribución de clorofila y de O<sub>2</sub> disuelto. Así pues, el pH presenta valores que pueden considerarse normales para la zona de estudio y la época de muestreo.

### 5.1.3 Clorofila

En los apartados anteriores se han adelantado algunos aspectos de la distribución de clorofila. En general, la concentración de clorofila es baja y homogénea en las áreas de estudio. Si tenemos en cuenta el valor de 1 µg·l<sup>-1</sup> de concentración de clorofila “a” como umbral diferenciador entre poblaciones en crecimiento (o en mantenimiento) y poblaciones en decaimiento, no se alcanza dicho umbral ni siquiera en los niveles subsuperficiales de las estaciones de referencia. Esta distribución puede considerarse normal para la situación estival y acorde con la estructura hidrográfica registrada.

### 5.1.4 Sólidos en suspensión y propiedades ópticas

Para las zonas de Getaria y Mutriku, los valores máximos de transparencia, en términos de la profundidad de visión del disco de Secchi, se registran en las estaciones de referencia con 13 m y 11 m respectivamente, valores mayores que los registrados en 2016. Los valores restantes son más altos y homogéneos en la zona de Mutriku (9-11 m) que en la zona de Getaria (5 m en la estación G100 y un incremento hacia la estación de referencia). Cabe destacar que el mínimo de la estación G100 no coincide con índices de mala calidad óptica. Así pues, los valores de transmitancia, clorofila o sólidos en suspensión son bastante homogéneos en ambas zonas y, en general, como resulta habitual, no se dan correspondencias o relaciones sencillas y netamente definidas entre las distintas variables representativas de las propiedades ópticas como la turbidez, la concentración de sólidos en suspensión o la concentración de clorofila. En esta campaña, la concentración de clorofila tendría nuevamente una influencia reducida debido a la baja concentración registrada en las capas superficiales.

Al contrario de lo observado en las campañas de años anteriores, no existen diferencias importantes en las propiedades ópticas entre la zona de Getaria y Mutriku. No obstante, como en los veranos anteriores, resulta difícil considerar unos gradientes de afección bien definidos desde un foco único y puntual. Nuevamente, la distribución de la salinidad como representante de los materiales disueltos y la distribución de material particulado (como revelan las concentraciones de sólidos en suspensión y los valores de turbidez) indican influencias relativamente difusas, manchas más o menos diferenciadas relacionadas con pulsos de vertido y con la circulación asociada al vaivén de la marea, que se atenúan en un entorno espacial reducido.

En los informes de las campañas anteriores se señalaba que, en general, resulta más probable que se registren mejores propiedades ópticas en la zona de Getaria que en la de Mutriku. Los resultados de la presente campaña muestran que no se observa un patrón bien definido que indique una mejor calidad óptica en Getaria (Tabla 3). Por otra parte, en el contexto de las condiciones hidrometeorológicas descritas, la calidad óptica de ambas zonas puede considerarse buena o muy buena (Bald et al., 2005; URA, 2015; BOE, 2016), asociada a mejores valores de transparencia que en 2016.

#### 5.1.5 Microbiología

Como puede observarse en la Tabla 3, los máximos más destacables de unidades formadoras de colonias de *E. coli*, se registran en las estaciones M100 y M50. Luego se da una importante dilución hacia M200 y MREF, donde ya sólo se registran valores residuales.

Por otra parte, como en 2016, se han registrado valores bajos, pero no nulos, para las unidades formadoras de colonias de *E. coli* en las estaciones de referencia. Esto resulta acorde con el mayor porcentaje de agua dulce remanente en las aguas superficiales, con más permanencia de las plumas en superficie y menor dilución por mezcla vertical.

En las estaciones M50 y M100 se observa la asociación típica entre máximos de bacterias y valores máximos también de nitrógeno y fósforo.

A pesar de que en cada campaña estival pueden apuntarse algunas peculiaridades, se puede seguir considerando un patrón general de distribución, en consonancia con lo expuesto en informes anteriores, acerca de que la densidad de bacterias puede considerarse un trazador del efecto de los vertidos, marcando los gradientes y el patrón de dilución. De hecho, resulta frecuente que en muestras con resultado positivo para *E. coli* se registren también algunos valores singulares de concentración de algunos nutrientes y de carbono orgánico.

En el presente caso el valor máximo registrado en la estación M100 rebasa el límite establecido para la declaración de calidad buena/suficiente ( $500 \text{ UFC} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ ) del *Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño* (aunque el diseño del muestreo no permite el cálculo de los valores según la

metodología descrita en dicho Real Decreto). Por otro lado, la concentración registrada en la estación M50 permitiría la declaración de calidad buena/suficiente. Para las restantes estaciones de ambas zonas, los valores resultan inferiores al límite para la declaración de calidad excelente ( $250 \text{ UFC} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ ). Esto indica que, a pesar de superarse el límite establecido en la estación M100, se da una importante dilución a 200 metros del punto de vertido donde se observan valores residuales.

#### 5.1.6 Nutrientes disueltos, totales y carbono orgánico total

Como se ha indicado en el apartado de bacteriología, algunas de las estaciones con valores destacables de densidad de bacterias se asocian a máximos o valores destacados de concentración de nutrientes (Tabla 3). Sin embargo, como en campañas anteriores también habría que considerar el efecto de manchas o plumas y, en general, la ausencia de patrones de dilución bien definidos para algunas variables.

En la campaña estival de 2017, las estaciones M50 y M100 presentan valores relativamente altos de nitrato y fosfato, así como de nitrógeno y fósforo total, en comparación con la estación de referencia y con la situada a 200 m del vertido. De hecho, según los criterios del actual Plan Hidrológico (URA, 2015; BOE, 2016), las dos estaciones más cercanas al vertido no alcanzarían el buen estado debido a sus elevadas concentraciones de nitrato, y en la estación M100 el fosfato también superaría la concentración máxima recomendada. Estos valores se asocian al máximo de densidad de bacterias en esta zona. Por otra parte, hay que considerar que los valores umbral de nutrientes están diseñados para su aplicación a promedios anuales, y en este caso se trata de una sola campaña, con lo cual deben tomarse como objetivos de calidad orientativos. Además, la concentración de amonio no destaca en las estaciones más cercanas al vertido de Mutriku, y tampoco especialmente la de carbono orgánico total.

En cuanto a la zona receptora del vertido de Getaria, hay que señalar que las concentraciones de nutrientes inorgánicos son notablemente más bajas, en la mayoría de los casos inferiores a los límites de cuantificación. En este sentido, en la presente campaña a la zona de Getaria le corresponde un estado fisicoquímico muy bueno en base al amonio, al nitrato y al fosfato, siendo estos los nutrientes que figuran en el actual Plan Hidrológico (URA, 2015; BOE, 2016). Asimismo, el nitrógeno y el fósforo total en la zona de Getaria presentan concentraciones muy similares a las de la estación de referencia. Por su parte, el carbono orgánico total está en el rango de las concentraciones esperadas para las masas de agua costeras del País Vasco. Así, aunque la concentración medida en la muestra de superficie de la estación de referencia sea superada por las registradas en las estaciones G100, G200 y G400, estas últimas no manifiestan diferencias apreciables respecto a otras estaciones suficientemente alejadas de vertidos (p. ej., MREF). Todo ello es coherente con la ya señalada excelente calidad que señala la bacteriología en la zona de Getaria.

Así pues, de modo general, pueden mantenerse algunas de las consideraciones apuntadas para las campañas de los años precedentes. En ambas zonas predominan las

condiciones regidas por la estacionalidad y las condiciones hidrometeorológicas recientes. Los valores que toman algunas variables indican aportes costeros, tanto de vertidos puntuales como de fuentes más difusas. A pesar de los valores puntuales señalados, en las condiciones registradas en el muestreo, las concentraciones no son excesivas y no puede hablarse de casos de distrofia ni de eutrofia importante. De hecho, ni se registran concentraciones excesivas de clorofila, ni se observa déficit de O<sub>2</sub>.

## 5.2 Sedimentos

### 5.2.1 Caracterización sedimentológica

Los resultados de este apartado se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Parámetros sedimentológicos de carácter general medidos en cada campaña de muestreo, para cada uno de los puntos de muestreo: composición granulométrica; % de las fracciones gravosa, arenosa y fangosa, y de concentración de materia orgánica (MO); y potencial redox (REDOX) medido en mV.

MUESTRA	CAMPAÑA	GRAVAS	ARENAS	FANGOS	MO	REDOX
G400	2009	0,0	99,6	0,4	0,9	278
	2010	0,2	99,4	0,4	1,0	346
	2011	0,0	99,3	0,7	1,4	122
	2012	0,0	94,7	5,3	1,5	179
	2013	0,0	99,6	0,4	2,2	344
	2014	0,0	99,7	0,3	1,9	250
	2015	0,0	99,9	0,1	1,4	256
	2016	0,0	99,4	0,6	1,1	28
	2017	0,1	99,6	0,4	1,8	240
M200	2009	44,8	54,1	1,1	1,1	177
	2010	1,4	96,7	1,9	1,6	261
	2011	0,0	96,8	3,2	1,8	73
	2012	9,7	86,7	3,6	5,5	448
	2013	0,1	98,9	0,9	5,8	204
	2014	21,2	73,8	5,1	3,2	81
	2015	9,7	89,4	0,9	1,8	26
	2016	2,6	75,2	22,2	1,9	-15
	2017	59,1	33,2	7,7	2,6	239

El porcentaje de finos es bajo en la estación G400 (<1%) y moderado en la estación M200 (8%), siendo dominante la fracción arenosa en G400 (≈100%) y la fracción gravosa en M200 (59%). Respecto a la pasada campaña de 2016, en M200 destaca, precisamente, el incremento en la fracción gravosa (3% en 2016) y la consiguiente disminución de la fracción limosa (22% en 2016) y, sobre todo, de la fracción arenosa (del 75% en 2016 al 33% en 2017).

En muestras de bajo porcentaje en finos resulta habitual encontrar también una concentración de materia orgánica, estimada en términos del porcentaje de peso perdido por calcinación, igualmente bajo, como ocurre en la muestra G400 (1,8%). En cambio, en M200, a pesar de la concentración moderada de finos, el contenido en materia orgánica es moderadamente alto para la zona de estudio (2,6%), por encima de los valores habituales para la zona, aunque por debajo de los máximos históricos

---

registrados en 2013 (5,8%) y 2012 (5,5%). Este incremento interrumpe la disminución progresiva del porcentaje de materia orgánica que se venía registrando desde las campañas de 2012 y 2013.

Como en campañas anteriores, el potencial redox sigue siendo positivo en la muestra G400 (240 mV), lo que indica el carácter oxidante del sedimento. Del mismo modo, también en la estación M200 el potencial redox resulta positivo (239 mV), como venía siendo habitual hasta la pasada campaña de 2016, en que, por primera vez desde que se iniciara el seguimiento, se registró un potencial redox negativo (-15 mV). A pesar de que la concentración de materia orgánica en el sedimento es relativamente alta, lo que *a priori* haría prever un potencial redox negativo o próximo a cero, el alto contenido en gravas podría indicar una alta porosidad del sedimento y, por tanto, una buena tasa de oxigenación, lo que permitiría el mantenimiento de potenciales positivos.

En relación a la composición granulométrica del sedimento de la estación M200, en pasadas campañas ya se planteó la hipótesis de que los cambios que se venían detectando, no estaban necesariamente relacionados con el vertido. Por el contrario, probablemente responderían a que la posición en la que se iban tomando las muestras variaba entre campañas. Otra posible hipótesis que explica las diferencias en el contenido de material grueso es la propia hidrodinámica, que puede haber desplazado dicho material, el cual, probablemente proviene de la escollera del dique de protección de la dársena exterior del puerto o está relacionado con las nuevas estructuras construidas para la instalación de obtención de energía a partir del oleaje. Sin embargo, esta segunda hipótesis no explicaría el nuevo incremento en el contenido en gravas de esta última campaña de 2017.

Por otro lado, destaca el incremento de la concentración de materia orgánica medida en la estación M200. En la primavera de 2012 se instaló, al abrigo del dique exterior, una jaula para cultivos piloto. Aunque no se introdujo pescado hasta octubre, en la red crecieron algas y fauna incrustante que pudieron ejercer como foco de atracción de pescado, lo cual pudo contribuir al enriquecimiento orgánico. Posteriormente, la instalación contuvo pescado hasta finales de la primavera de 2013, lo cual también pudo haber contribuido al enriquecimiento. Además, en el control del cultivo se había detectado un enriquecimiento orgánico, aunque se había limitado al área que quedaba justo debajo de la instalación. En el informe correspondiente a la campaña de 2013 se indicaba que, una vez desmantelada la jaula, era importante mantener la vigilancia para comprobar si, efectivamente, la concentración de materia orgánica volvía a reducirse o si la fuente de materia orgánica era otra. En las campañas de 2015 y 2016, el contenido en materia orgánica se redujo, lo que parecía confirmar que los cambios en el contenido en materia orgánica podrían estar relacionados con la jaula, aunque en 2016 se produjo una importante disminución del potencial redox, que podría indicar un mayor consumo del oxígeno presente en el agua intersticial del sedimento, posiblemente relacionado con un aporte reciente de materia orgánica ya mineralizada. De modo similar a lo ocurrido en 2012 y 2013, el incremento detectado en la presente campaña podría estar relacionado con una batea de cultivo de mejillón (y ostra) instalado en 2017 en la misma

zona en la que se encontraba la jaula. Dicha batea ha albergado cantidades importantes de mejillones y ostras, por lo que no se descarta que hayan podido provocar un enriquecimiento en materia orgánica de la zona. Por el contrario, el alto potencial redox no parece responder a tal aporte de materia orgánica. Por tanto, se considera importante comprobar la evolución del contenido en materia orgánica del sedimento en los próximos años.

### 5.2.2 Contenido en metales pesados

Los resultados de este apartado se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Concentración de metales pesados en la fracción fina de las muestras de sedimento. Todos los datos se expresan en mg kg<sup>-1</sup>. Referencia: valores de referencia para la costa vasca, basados en Rodríguez *et al.* (2006); NBT: nivel bajo de toxicidad (Long *et al.*, 1995); NMT: nivel medio de toxicidad (Long *et al.*, 1995).

ESTACIÓN	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Hg	As	Zn	Mn	Fe
G400	0,5	28	42	27	30	<0,05	16	112	206	20.000
M200	0,5	13	39	22	21	0,14	14	78	257	34.870
Referencia	0,24	33	26	29	31	0,13	12	147	240	32.000
NBT	1,2	34	81	21	47	0,15	-	150	-	-
NMT	9,6	270	370	52	220	0,71	-	410	-	-

En el apartado anterior se ha constatado que el porcentaje de finos es bajo en la muestra G400 y moderado en la muestra M200. Tal y como se ha comentado en informes anteriores, esto supone que, incluso si dichos finos retuvieran altas concentraciones de metales pesados, la carga total de metal sería relativamente baja. Este aspecto no es raro, sobre todo en casos en los que los finos presentes en áreas fundamentalmente arenosas proceden del transporte desde zonas de manejo de materiales fuertemente contaminados (depósitos de residuos metalúrgicos, zonas de vertido de material de dragados portuarios, etc.).

Para el presente caso, en comparación con los valores de referencia señalados en la Tabla 5, prácticamente todas las concentraciones de metales determinadas se sitúan por debajo de dichos valores. Son excepción el ligero enriquecimiento, respecto a los niveles de referencia calculados por Rodríguez *et al.* (2006) para la costa vasca, en la concentración de Mn en la estación G400, y la concentración de As en M200, que es igual al valor de referencia.

Respecto a la campaña de 2016, las concentraciones de metales en la presente campaña son mayores en ambas estaciones, excepto para Hg, Mn y Fe en la estación G400, y Cu y Zn en la estación M200. Además, en algunos casos, las diferencias son importantes, destacando los incrementos en las concentraciones de Cd (de <0,1 mg kg<sup>-1</sup> a 0,5 mg kg<sup>-1</sup> en ambas estaciones) y de Cr (de 16 mg kg<sup>-1</sup> a 42 mg kg<sup>-1</sup> en G400 y de 12 mg kg<sup>-1</sup> a 39 mg kg<sup>-1</sup> en M200). También destaca que, de los metales que en 2015 y en 2016 se encontraban por debajo del límite de cuantificación (Cd y Hg), únicamente Hg y sólo en la estación G400, mantenga concentraciones tan bajas.

Probablemente, tal y como se comentaba en los informes correspondientes a las pasadas campañas, los cambios en la concentración de metales se deben a la heterogeneidad espacial (y a que las muestras no se han tomado exactamente en los mismos puntos que las pasadas campañas) más que a un cambio real de las concentraciones de metales de las zonas analizadas.

En cualquier caso, como ya se ha comentado previamente, a la baja carga de metales que implica la escasa proporción de fracción fina en los sedimentos puede añadirse, como factor destacable, que las concentraciones registradas en dicha fracción no superan un factor de enriquecimiento de 2 respecto a valores de referencia calculados para sedimentos de la costa vasca en muestras de fracción fina (analizadas por un método de extracción comparable al utilizado en las determinaciones realizadas para este estudio), salvo en el caso del Cd. En cualquier caso, sería improbable que el origen de los metales pesados sean los vertidos provenientes de la depuración de aguas residuales urbanas.

Por último, para estimar la calidad de los sedimentos según sus posibles efectos sobre la biota, se pueden tomar también los valores de referencia recopilados por Long *et al.* (1995). Actualmente, dichos valores se incluyen con frecuencia en programas de regulación y para dar respuesta en asuntos de gestión medioambiental. Se trata de concentraciones de compuestos químicos en sedimento estimados con objeto de predecir posibles efectos biológicos adversos en caso de que sean superados (Wenning e Ingersoll, 2002). Tales valores fueron obtenidos a partir de numerosos trabajos basados en la medición de compuestos químicos y en la cuantificación de sus efectos biológicos correspondientes. De esta forma, se establecen dos niveles de toxicidad:

- **Nivel bajo de toxicidad (NBT):** corresponde al percentil 10 del mencionado trabajo, valor por debajo del cual los efectos biológicos son raros.
- **Nivel medio de toxicidad (NMT):** corresponde al percentil 50 y es aquel valor por encima del cual los efectos biológicos son frecuentes.

Los valores de referencia se muestran en la Tabla 5. Comparados con las concentraciones determinadas a partir de la fracción fina del sedimento de este estudio, se deduce que tan sólo el Ni supera el valor NBT (en ambas estaciones de muestreo), por lo que no es probable que tales concentraciones supongan efectos biológicos adversos.

---

## 6. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

Las condiciones hidrográficas registradas en la presente campaña se ajustan bien a las esperables para las fechas del muestreo. En este contexto estacional e hidrometeorológico, los índices de la potencial influencia de los vertidos presentan algunas peculiaridades, pero también bastantes similitudes con lo observado en las campañas de los años precedentes, tanto en los rangos observados en distintas variables, como en algunos aspectos de su distribución.

Nuevamente, se han observado asociaciones de valores singulares de algunas variables y, a partir de esa singularidad, gradientes de dilución o mejora bastante regulares. También puede señalarse una cierta irregularidad en la distribución de los nutrientes, con dualidad entre concentraciones bajas, o inferiores a las esperables, y valores notablemente altos. Estos máximos, asociados también a máximos de bacterias, denotan aportes puntuales de cierta importancia, que se reducen de forma importante con la distancia al punto de vertido.

Considerando en conjunto los aportes de nutrientes y materia orgánica, los valores máximos de concentración no resultan excesivos en el caso de Getaria. En Mutriku, aunque se observen algunos picos de nitrato y fosfato que superan las concentraciones máximas recomendadas, estos afectan a un entorno reducido, observándose a 200 m concentraciones similares a las de las estaciones de referencia, típicas de aguas en muy buen estado fisicoquímico. Además, no puede hablarse de casos de distrofia, ni de eutrofia importante. De hecho, ni se registran concentraciones excesivas de clorofila ni se observa déficit de oxígeno.

Para las propiedades ópticas y las variables relacionadas, la mayoría de los valores indican una baja alteración local y transitoria y, a la vez, un gradiente relativamente rápido de amortiguación. Teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas precedentes y la distribución de salinidad en superficie, la calidad óptica en ambas zonas puede calificarse de buena a muy buena.

Así pues, aunque puedan considerarse diferencias entre las dos zonas de estudio, con alternancia respecto a la presencia de mayor o menor número de valores o índices desfavorables, en ambas zonas predominan la distribución y los rangos de valores asociados a aspectos estacionales, hidrográficos y morfológicos para las variables consideradas en el estudio de caracterización de la columna de agua. Nuevamente los índices desfavorables resultan puntuales y transitorios y se amortiguan con la distancia al punto de vertido.

En cuanto a los sedimentos, la baja proporción de finos indica una dinámica activa en la zona de Getaria y el predominio del transporte frente a la sedimentación. Del mismo modo, en la zona de Mutriku destaca el alto contenido en materia gravosa. Los sedimentos presentan carácter oxidante en ambas áreas de estudio. Tanto de forma general, como en lo referente a la fracción fina, en ninguna de las dos zonas estudiadas

se observan indicios de contaminación por metales, aunque se observa un incremento en la concentración de metales respecto a la pasada campaña de 2016. Sin embargo, salvo el cadmio, ningún metal supera un factor de enriquecimiento de 2 respecto a los valores de referencia calculados para la costa vasca, y en ningún caso se alcanzan los niveles bajos de toxicidad.

---

## 7. BIBLIOGRAFÍA

BALD, J.; BORJA, Á.; MUXIKA, I.; FRANCO, J.; VALENCIA, V. 2005. Assessing reference conditions and physico-chemical status according to the European Water Framework Directive: A case-study from the Basque Country (Northern Spain). *Marine Pollution Bulletin*, 50: 1508-1522.

BOE, 2016. *Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro*. Boletín Oficial del Estado, Núm. 16, Sec. I., pp. 2972-4301. <http://www.boe.es>.

BORJA, Á.; BALD, J.; FRANCO, J.; LARRETA, J.; MENCHACA, I.; MUXIKA, I.; REVILLA, M.; RODRÍGUEZ, J.G.; SOLAUN, O.; URIARTE, A.; VALENCIA, V.; ZORITA, I.; ADARRAGA, I.; AGUIRREZABALAGA, F.; SOLA, J.C.; CRUZ, I.; MARQUEGUI, M.A.; MARTÍNEZ, J.; RUIZ, J.M.; CANO, M.; LAZA-MARTÍNEZ, A.; MANZANOS, A. 2017. *Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Informe de resultados. Campaña 2016*. Informe de AZTI para la Agencia Vasca del Agua. 414 pp.

FONTÁN, A.; VALENCIA, V.; LARRETA, J.; FRANCO, J. 2009. *Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku*. Informe Técnico elaborado por AZTI-Tecnalia para el Departamento de Desarrollo Sostenible de la Diputación Foral de Gipuzkoa. 30 pp. + Anexos.

GRASSHOFF, K.; EHRAHARDT, M.; KREMLING, K. (Eds). 1983: *Methods of Seawater Analysis* (2ª Edición). Verlag Chemie, Weinheim XXVIII, 419 pp.

HOLME, N.A.; MCINTYRE, A.D. 1971. *Methods for the study of marine benthos*. Blackwell Scientific Publications, Oxford: 387 pp.

LONG, E.R.; MACDONALD, D.D.; SMITH, S.L.; CALDER, F.D. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19: 81-97.

LORING, D.H.; RANTALA, R.T.T. 1992. *Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter*. *Earth-Sciences Review*, 32: 235-283.

MUXIKA, I.; VALENCIA, V. 2010. *Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku*. Informe Técnico elaborado por AZTI-Tecnalia para el Departamento de Desarrollo Sostenible de la Diputación Foral de Gipuzkoa. 31 pp. + Anexos.

MUXIKA, I.; VALENCIA, V. 2011. *Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku*. Informe Técnico elaborado por AZTI-Tecnalia para el

Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Diputación Foral de Gipuzkoa. 33 pp. + Anexos.

MUXIKA, I.; VALENCIA, V. 2012. *Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku - 2012*. Informe Técnico elaborado por AZTI-Tecnalia para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Diputación Foral de Gipuzkoa. 30 pp. + Anexos.

MUXIKA, I.; VALENCIA, V. 2013. *Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku - 2013*. Informe Técnico elaborado por AZTI-Tecnalia para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Diputación Foral de Gipuzkoa. 28 pp. + Anexos.

MUXIKA, I.; VALENCIA, V. 2014. *Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku - 2014*. Informe Técnico elaborado por AZTI-Tecnalia para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Diputación Foral de Gipuzkoa. 28 pp. + Anexos.

MUXIKA, I.; MENCHACA, I.; VALENCIA, V. 2015. *Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku - 2015*. Informe Técnico elaborado por AZTI para el Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa. 28 pp. + Anexos.

MUXIKA, I.; VALENCIA, V. 2016. *Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku - 2016*. Informe Técnico elaborado por AZTI para el Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa. 27 pp. + Anexos.

RODRÍGUEZ, J.G.; TUEROS, I.; BORJA, Á.; BELZUNCE, M.J.; FRANCO, J.; SOLAUN, O.; VALENCIA, V.; ZUAZO, A. 2006. Maximum likelihood mixture estimation to determine metal background values in estuarine and coastal sediments within the *European Water Framework Directive*. *Science of the Total Environment*, 370: 278-293.

URA, 2015. *Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico, Revisión 2015 – 2021. Parte española de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. MEMORIA - ANEJO VIII: Seguimiento y evaluación del estado*. <http://www.uragentzia.euskadi.eus/informacion/plan-hidrologico-de-la-demarcacion-hidrografica-del-cantabrico-oriental-2015-2021/u81-0003333/es/>

WENNING, R.J.; INGERSOLL, G.C. 2002. *Summary of the Setac Pellston Workshop on the Use of Sediment Quality Guidelines and Related Tools for the Assessment of Contaminated Sediments*. 17-22 August 2002. Fairmont, Montana, USA. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). Pensacola, FL, USA. 45 pp.

## 8. ANEXO I. DATOS HIDROGRÁFICOS

Listado, metro a metro, de los datos tomados mediante CTD en cada estación.

Prof.: profundidad de la columna de agua; Temp.: Temperatura; Sal.: Salinidad; ST: Sigma Theta o exceso de densidad ( $\rho-1000$ )<sup>1</sup>; Trans.: transmitancia o porcentaje de luz transmitida; PAR: radiación fotosintéticamente activa que incide en el nivel indicado; Cl "a": Clorofila "a"; [O<sub>2</sub>]: concentración de oxígeno disuelto; Sat. O<sub>2</sub>: porcentaje de saturación de oxígeno; ND: No Disponible

---

<sup>1</sup> Sigma Theta o exceso de densidad: es la diferencia entre la densidad real medida y la densidad del agua líquida a 1 atm de presión y a 4 °C de temperatura (1000 kg·m<sup>-3</sup>). Está relacionada con la temperatura, la salinidad y la presión, e indica, en cierta manera, la flotabilidad de la masa de agua respecto al agua dulce.

***CAMPAÑA DE AGOSTO DE 2017 (29/08/2017) EN  
GETARIA***

Estación G100									
Prof. (m)	Temp. (° C)	Sal. (USP)	ST (kg·m <sup>-3</sup> )	Trans. (%)	PAR (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Cl "a" (μg·L <sup>-1</sup> )	[O <sub>2</sub> ] (mL·L <sup>-1</sup> )	Sat. O <sub>2</sub> (%)	pH
<b>Superficie</b>	21,272	34,854	24,308	83,82	213,0	0,45	5,01	99	7,98
<b>2</b>	21,191	34,856	24,333	83,83	172,1	0,49	5,02	99	7,98
<b>3</b>	20,752	34,957	24,528	83,61	161,4	0,51	5,03	99	7,97
<b>4</b>	20,611	34,962	24,570	83,55	135,5	0,51	4,98	97	7,97
<b>5</b>	20,636	34,968	24,569	83,70	102,0	0,51	4,92	96	7,98

Estación G200									
Prof. (m)	Temp. (° C)	Sal. (USP)	ST (kg·m-3)	Trans. (%)	PAR (μmol·m-2·s-1)	Cl "a" (μg·L-1)	[O2] (mL·L-1)	Sat. O2 (%)	pH
Superficie	21,304	34,853	24,300	83,97	329,3	0,45	5,02	99	8,04
2	21,297	34,855	24,303	83,91	211,2	0,48	5,03	100	8,03
3	21,267	34,860	24,315	83,87	192,4	0,49	5,04	100	8,03
4	21,252	34,863	24,321	83,88	165,5	0,50	5,03	100	8,04
5	21,252	34,863	24,321	83,82	131,0	0,51	5,03	100	8,04
6	21,248	34,864	24,323	83,82	115,0	0,51	5,02	99	8,04
7	21,231	34,863	24,327	83,74	99,4	0,52	5,02	99	8,05
8	21,210	34,866	24,335	83,79	85,7	0,52	5,02	99	8,05
9	21,175	34,873	24,350	83,64	72,5	0,52	5,02	99	8,05
10	21,175	34,877	24,353	83,71	62,5	0,51	5,02	99	8,05

Estación G400									
Prof. (m)	Temp. (° C)	Sal. (USP)	ST (kg·m <sup>-3</sup> )	Trans. (%)	PAR (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Cl "a" (μg·L <sup>-1</sup> )	[O <sub>2</sub> ] (mL·L <sup>-1</sup> )	Sat. O <sub>2</sub> (%)	pH
Superficie	21,594	34,869	24,231	83,27	70,4	0,46	5,05	101	8,07
2	21,578	34,870	24,236	83,65	75,5	0,46	5,06	101	8,07
3	21,570	34,870	24,238	83,70	98,8	0,46	5,07	101	8,07
4	21,581	34,874	24,239	83,71	138,2	0,48	5,06	101	8,07
5	21,546	34,891	24,261	83,54	125,4	0,48	5,06	101	8,07
6	20,826	34,916	24,478	83,49	104,9	0,52	5,10	100	8,07
7	20,817	34,951	24,506	83,37	95,7	0,53	5,08	100	8,06
8	20,715	34,965	24,545	83,40	83,7	0,55	5,04	99	8,06
9	20,709	34,960	24,543	83,32	72,2	0,57	5,01	98	8,06
10	20,704	34,966	24,549	83,33	63,5	0,58	4,99	98	8,06
11	20,695	34,975	24,558	83,29	55,5	0,57	4,98	98	8,06
12	20,726	34,981	24,554	83,33	47,6	0,58	4,97	98	8,06
13	20,724	34,990	24,562	83,49	41,9	0,58	4,98	98	8,06
14	20,729	34,995	24,564	83,49	36,3	0,58	4,98	98	8,06
15	20,540	35,024	24,637	83,58	31,0	0,60	5,02	98	8,06

Estación GREF									
Prof. (m)	Temp. (° C)	Sal. (USP)	ST (kg·m <sup>-3</sup> )	Trans. (%)	PAR (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Cl "a" (μg·L <sup>-1</sup> )	[O <sub>2</sub> ] (mL·L <sup>-1</sup> )	Sat. O <sub>2</sub> (%)	pH
Superficie	21,739	34,779	24,123	85,19	55,8	0,42	5,06	101	8,09
2	21,710	34,768	24,123	85,15	53,8	0,42	5,07	101	8,09
3	21,705	34,758	24,116	85,25	63,3	0,43	5,07	101	8,09
4	21,707	34,762	24,119	85,20	104,0	0,44	5,07	101	8,09
5	21,708	34,763	24,120	85,15	103,7	0,45	5,07	101	8,09
6	21,721	34,777	24,127	85,26	103,9	0,46	5,06	101	8,09
7	21,756	34,838	24,163	85,21	93,5	0,46	5,07	101	8,09
8	21,727	34,915	24,229	85,25	85,4	0,45	5,08	102	8,09
9	21,720	35,018	24,310	85,31	76,7	0,44	5,08	102	8,09
10	21,604	35,059	24,373	85,57	69,5	0,44	5,10	102	8,09
11	21,189	35,119	24,534	85,71	61,6	0,38	5,15	102	8,08
12	20,981	35,106	24,581	85,18	56,9	0,42	5,15	102	8,08
13	20,702	35,113	24,661	84,74	50,6	0,51	5,16	101	8,07
14	20,345	35,100	24,747	84,41	45,2	0,56	5,14	100	8,06
15	20,268	35,118	24,782	84,20	40,0	0,57	5,06	98	8,06
16	20,198	35,129	24,809	84,44	35,5	0,56	5,00	97	8,06
17	20,070	35,129	24,843	84,42	31,0	0,57	4,98	97	8,06
18	19,951	35,185	24,917	84,47	27,4	0,57	4,97	96	8,06
19	19,739	35,177	24,966	84,92	24,2	0,55	4,99	96	8,05
20	19,618	35,220	25,031	85,05	21,4	0,55	5,01	96	8,05
21	19,352	35,324	25,179	85,24	19,0	0,54	4,99	96	8,06

***CAMPAÑA DE AGOSTO DE 2017 (29/08/2017) EN  
MUTRIKU***

Estación M50									
Prof. (m)	Temp. (° C)	Sal. (USP)	ST (kg·m <sup>-3</sup> )	Trans. (%)	PAR (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Cl "a" (μg·L <sup>-1</sup> )	[O <sub>2</sub> ] (mL·L <sup>-1</sup> )	Sat. O <sub>2</sub> (%)	pH
Superficie	21,049	35,116	24,569	80,00	76,2	0,59	4,76	94	8,05
2	20,965	35,126	24,599	80,61	84,3	0,60	4,77	94	8,05
3	20,918	35,135	24,619	81,30	117,2	0,61	4,79	94	8,05
4	20,804	35,171	24,677	82,47	165,2	0,62	4,79	94	8,04
5	20,703	35,190	24,719	83,33	159,0	0,53	4,73	93	8,04
6	20,573	35,217	24,775	83,80	139,0	0,45	4,68	92	8,04
7	20,272	35,254	24,883	83,99	118,2	0,41	4,70	92	8,03
8	19,596	35,329	25,119	83,60	101,7	0,41	4,75	91	8,02
9	18,989	35,382	25,317	82,88	89,4	0,37	4,75	90	8,01

Estación M100									
Prof. (m)	Temp. (° C)	Sal. (USP)	ST (kg·m <sup>-3</sup> )	Trans. (%)	PAR (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Cl "a" (μg·L <sup>-1</sup> )	[O <sub>2</sub> ] (mL·L <sup>-1</sup> )	Sat. O <sub>2</sub> (%)	pH
<b>Superficie</b>	20,861	35,154	24,649	82,44	85,0	0,53	4,85	96	8,06
<b>2</b>	20,795	35,192	24,696	83,12	86,4	0,52	4,86	95	8,06
<b>3</b>	20,680	35,230	24,756	83,97	108,1	0,51	4,84	95	8,06
<b>4</b>	20,507	35,257	24,823	84,08	171,9	0,51	4,81	94	8,06
<b>5</b>	20,299	35,261	24,882	84,21	196,7	0,54	4,78	93	8,06
<b>6</b>	19,943	35,283	24,993	84,42	180,6	0,57	4,78	93	8,05
<b>7</b>	19,554	35,255	25,074	84,15	157,8	0,60	4,83	93	8,05
<b>8</b>	19,283	35,262	25,149	83,81	136,7	0,64	4,91	94	8,05
<b>9</b>	19,158	35,316	25,222	84,13	117,2	0,66	4,96	95	8,05
<b>10</b>	19,075	35,333	25,257	84,64	97,6	0,68	4,95	94	8,05
<b>11</b>	18,981	35,370	25,309	84,61	81,3	0,66	4,98	95	8,05
<b>12</b>	18,893	35,437	25,383	82,64	69,6	0,67	4,99	95	8,05

Estación M200									
Prof. (m)	Temp. (° C)	Sal. (USP)	ST (kg·m <sup>-3</sup> )	Trans. (%)	PAR (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Cl "a" (μg·L <sup>-1</sup> )	[O <sub>2</sub> ] (mL·L <sup>-1</sup> )	Sat. O <sub>2</sub> (%)	pH
<b>Superficie</b>	21,308	34,939	24,364	ND	73,6	ND	ND	ND	8,09
<b>2</b>	21,266	34,993	24,416	ND	77,1	ND	ND	ND	8,09
<b>3</b>	21,237	35,018	24,444	ND	93,4	ND	ND	ND	8,08
<b>4</b>	21,222	35,022	24,451	ND	200,6	ND	4,62	92	8,08
<b>5</b>	20,821	35,243	24,728	ND	214,5	ND	4,54	89	8,07
<b>6</b>	20,464	35,354	24,909	ND	182,8	ND	4,60	90	8,06
<b>7</b>	20,143	35,406	25,034	ND	170,8	ND	4,60	90	8,05
<b>8</b>	19,830	35,477	25,170	ND	147,1	ND	4,58	89	8,05
<b>9</b>	19,568	35,456	25,224	ND	126,2	ND	4,54	87	8,05
<b>10</b>	19,478	35,461	25,250	ND	108,7	ND	4,56	88	8,05
<b>11</b>	19,316	35,473	25,302	ND	94,0	ND	4,55	87	8,05
<b>12</b>	19,115	35,524	25,393	ND	82,8	ND	4,61	88	8,05
<b>13</b>	18,832	35,532	25,471	ND	70,4	ND	4,62	88	8,05
<b>14</b>	18,681	35,528	25,507	ND	62,6	ND	4,61	87	8,05

Estación MREF									
Prof. (m)	Temp. (° C)	Sal. (USP)	ST (kg·m <sup>-3</sup> )	Trans. (%)	PAR (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Cl "a" (μg·L <sup>-1</sup> )	[O <sub>2</sub> ] (mL·L <sup>-1</sup> )	Sat. O <sub>2</sub> (%)	pH
<b>Superficie</b>	20,876	34,984	24,515	80,41	89,5	0,43	4,83	95	8,06
<b>2</b>	20,828	35,028	24,562	81,43	87,3	0,42	4,84	95	8,06
<b>3</b>	20,729	35,155	24,686	82,52	93,3	0,44	4,85	95	8,06
<b>4</b>	20,668	35,189	24,728	84,13	108,8	0,47	4,90	96	8,07
<b>5</b>	20,519	35,225	24,796	84,55	131,3	0,49	4,97	97	8,07
<b>6</b>	20,375	35,238	24,844	84,56	140,8	0,53	5,00	98	8,06
<b>7</b>	20,127	35,277	24,940	84,45	135,5	0,53	4,97	97	8,05
<b>8</b>	19,930	35,294	25,005	84,28	119,6	0,53	4,92	95	8,05
<b>9</b>	19,867	35,297	25,024	84,45	105,2	0,53	4,92	95	8,05
<b>10</b>	19,753	35,310	25,064	84,34	92,8	0,54	4,93	95	8,05
<b>11</b>	19,658	35,322	25,098	84,42	81,9	0,56	4,94	95	8,05
<b>12</b>	19,406	35,354	25,188	84,70	71,6	0,56	4,96	95	8,05