

**Egoitza / Sede Bizkaia**

Txabarramendi 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](mailto:info@azti.es)



# Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku - 2015

## Informe final

para:

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



Pasaia, 21 de octubre de 2015

**Tipo documento** Informe final  
**Fecha** 21/10/2015  
**Proyecto** Control de las aguas receptoras de los vertidos de las zonas costeras de Getaria y Mutriku - 2015  
**Código** IM15ISURIA  
**Cliente** Dpto. de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas, Diputación Foral de Gipuzkoa

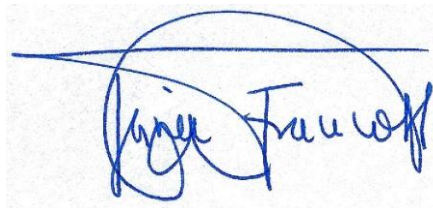
**Equipo de proyecto:** Dr. Iñigo Muxika  
Dr. Iratxe Menchaca  
D. Víctor Valencia

**Responsable proyecto** Dr. Iñigo Muxika



**Revisado por** Dr. Javier Franco

**Fecha** 15/10/2015



# ÍNDICE

<b>1. AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>4</b>
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>5</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
<b>4. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>7</b>
4.1. COLUMNA DE AGUA .....	9
4.1.1. <i>Perfiles verticales continuos de variables oceanográficas .....</i>	9
4.1.2. <i>Análisis de las muestras de agua .....</i>	9
4.2. ESTUDIO DE SEDIMENTOS.....	11
4.2.1. <i>Potencial redox.....</i>	11
4.2.2. <i>Granulometría .....</i>	11
4.2.3. <i>Materia orgánica.....</i>	12
4.2.4. <i>Metales pesados.....</i>	12
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>13</b>
5.1. COLUMNA DE AGUA .....	13
5.1.1. <i>Temperatura y salinidad.....</i>	13
5.1.2. <i>Oxígeno disuelto y pH .....</i>	15
5.1.3. <i>Clorofila.....</i>	17
5.1.4. <i>Sólidos en suspensión y propiedades ópticas .....</i>	17
5.1.5. <i>Microbiología.....</i>	18
5.1.6. <i>Nutrientes disueltos, totales y carbono orgánico total.....</i>	19
5.2. SEDIMENTOS.....	20
5.2.1. <i>Caracterización sedimentológica .....</i>	20
5.2.2. <i>Contenido en metales pesados.....</i>	22
<b>6. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>25</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>27</b>
<b>8. ANEXO I. DATOS HIDROGRÁFICOS.....</b>	<b>29</b>

## 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.

Miguel Santesteban e Iker Urtizberea llevaron a cabo las labores de muestreo. Luis Cuesta se ha encargado de la preparación del CTD y del procesado de datos, así como de otras labores que han facilitado el desarrollo de los trabajos.

Los análisis de laboratorio fueron realizados por Goretti García, Marivi Lucero y Deniz Kukul, analistas de la Unidad de Investigación Marina (UIM) de AZTI, y por Victor Valencia, investigador de la UIM. Los análisis microbiológicos fueron realizados por Iker Gandía, 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 2014 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) y 14 de octubre de 2014 (Muxika y Valencia, 2014).

El presente informe da cuenta de los resultados obtenidos en la campaña realizada en verano de 2015.

### 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 las áreas de estudio.
- Estudio y valoración los resultados obtenidos y elaboración del correspondiente informe anual recopilatorio.

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 18 de agosto de 2015, se utilizó una embarcación neumática "ASTECH 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 2014, 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 CAPV” (Borja *et al.*, 2014): 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° C	0,01° 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>

### 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 AAIH 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 AAIH 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 ( $\text{PtAl}_2\text{O}_3$ ) 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  $44 \pm 1^\circ \text{C}$  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 recepción de las muestras. Para ello, se empleó un electrodo de platino con referencia interna, conectado a un pH-metro/milivoltímetro digital, calibrado con un sistema redox patrón (Ferricianuro/Ferrocianuro en cloruro potásico).

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

#### **4.2.2. Granulometría**

Para el estudio de la composición granulométrica se utilizaron submuestras de 200 g. Una vez secas a  $105^\circ \text{C}$ , las muestras se tamizaron a través de una columna de 14 tamices CISA con intervalos de  $0,5 \Phi$ , desde 4 mm hasta 0,063 mm, según la escala geométrica de Wentworth (Krumbein y Sloss, 1969), 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° C y convenientemente homogeneizado para evitar agregaciones y heterogeneidad. Éstos se calcinaron a 450° 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

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 Ultraclave de alta presión. Este microondas es un reactor 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 en un FAS (espectroscopia de fluorescencia atómica) para el Hg y en un ICP-OES (plasma de acoplamiento inductivo de emisión óptica) 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).

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Columna de agua

El control anual en periodo estival se concretó el 18 de agosto de 2015. 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 18 de agosto de 2015. 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.

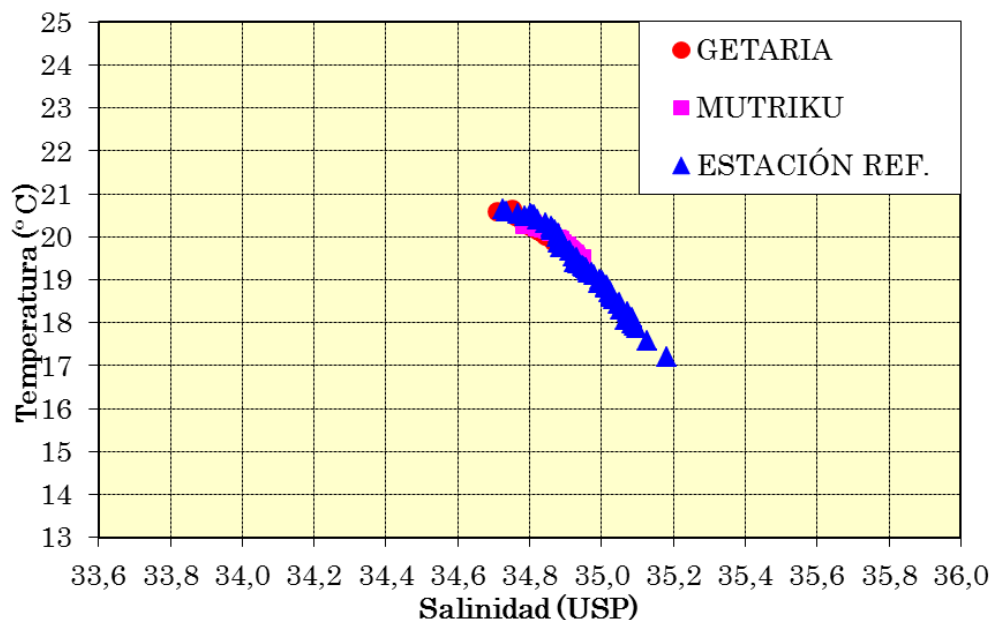
Estación	G100	G200	G400	GRAF	M50	M100	M200	MREF
Profundidad (m)	6	11	15	31	8	12	13	32
Temperatura (° C)	20,589	20,648	20,579	20,648	20,252	20,387	20,367	20,519
Salinidad (USP)	34,712	34,753	34,745	34,727	34,782	34,793	34,791	34,802
Transmitancia (%)	76,96	75,49	74,58	73,93	72,52	72,27	72,71	75,5
Secchi (m)	6	9	9	12	7	7	7	10
Turbidez (NTU)	0,57	0,37	1,34	0,43	0,76	0,8	0,67	0,73
SS (mg·L <sup>-1</sup> )	8,8	6,3	7	4,3	8,6	4,8	8,8	4
Color (mgp·L <sup>-1</sup> )	12	9	12	12	12	9	12	12
CAE (m <sup>-1</sup> )	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
Clorofila "a" (µg·L <sup>-1</sup> )	0,35	0,47	0,5	0,59	0,45	0,55	0,49	0,61
O <sub>2</sub> disuelto (mL·L <sup>-1</sup> )	5,48	5,42	5,09	5,36	4,93	4,93	4,88	5,39
Saturación de O <sub>2</sub> (%)	107	106	100	105	96	96	95	105
pH	8,23	8,23	8,2	8,23	8,16	8,16	8,17	8,22
<i>E. coli</i> (ufc·100 mL <sup>-1</sup> )	360	0	39	0	400	61	15	0
Amonio (µmol·L <sup>-1</sup> )	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60
Nitrito (µmol·L <sup>-1</sup> )	0,60	<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	29,00	5,85	2,05	<1,60
NT (µmol·L <sup>-1</sup> )	5,4	6,3	6,3	6,3	53,0	14,0	7,8	6,4
Fosfato (µmol·L <sup>-1</sup> )	3,20	<0,16	<0,16	<0,16	1,80	<0,16	<0,16	<0,16
PT (µmol·L <sup>-1</sup> )	3,30	0,35	0,35	0,35	3,25	0,55	0,40	0,35
Silicato (µmol·L <sup>-1</sup> )	2,90	<1,60	<1,60	<1,60	4,10	2,35	2,10	<1,60
COT (µmol·L <sup>-1</sup> )	191	108	110	112	255	135	143	124

#### 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 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 18 de agosto de 2015 en Getaria y Mutriku. Los triángulos 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. De todos modos, en comparación con la situación registrada en el verano de 2014, tanto la estratificación térmica, como la estratificación salina, resultan menos marcadas, con rangos más reducidos de ambas variables. En este sentido, en las estaciones más someras de las zonas de control, el rango de temperatura es menor de 2 °C y predominan las temperaturas alrededor de 20 °C en la totalidad de la columna de agua. Tampoco se registran valores de salinidad

inferiores a 34,6 USP mientras que, en agosto de 2014, todas las aguas someras con más de 21 °C presentaban salinidad inferior a dicho valor.

Por la parte de los mínimos de temperatura y los máximos de salinidad, puede apuntarse también la ausencia de aguas con temperatura menor de 17 °C y más de 35,2 USP de salinidad, mientras que en agosto de 2014 se llegaba a valores de salinidad superiores a 35,5 USP y temperaturas inferiores a 13,5 °C en los niveles de fondo de las estaciones de referencia.

De modo similar a lo señalado para los controles de años precedentes, la situación registrada resulta coherente con las condiciones climáticas recientes. Se observa un patrón de distribución más relacionado con hundimiento y mezcla parcial y, por tanto, una relativa dilución de las plumas superficiales, con porcentajes de agua dulce del orden del 3% en los registros superficiales de las estaciones de ambas zonas. No se aprecian diferencias destacables respecto a las estaciones de referencia y, por tanto, no se detectan gradientes de salinidad muy definidos.

En este sentido, puede destacarse nuevamente que se registran pocas discontinuidades de la distribución TS general, con bastante solapamiento de valores y escasas diferencias entre las zonas de control y las estaciones de referencia, para niveles de profundidad equivalentes. 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**

Tomando como base de la comparación las estaciones de referencia, puede destacarse una notable homogeneidad entre estaciones y niveles para las concentraciones absolutas de O<sub>2</sub> disuelto, y una influencia relativamente baja de la estratificación térmica en su porcentaje de saturación. Esto se traduce en un patrón de distribución vertical del O<sub>2</sub> disuelto ligeramente decreciente con el incremento de la profundidad. Como en otras campañas, las

principales discontinuidades se asocian a cambios de temperatura y el efecto de esta variable en la solubilidad del O<sub>2</sub>, lo que se traduce también en algunas diferencias en el porcentaje de saturación. De todos modos puede destacarse que, en las zonas de control, predominan los valores que indican una ligera sobresaturación.

Respecto a las estaciones de referencia, las concentraciones medias de O<sub>2</sub> disuelto son ligeramente más bajas en la zona de Getaria, aunque también se registran algunos valores más altos en las aguas superficiales y, en general, predominan los valores próximos a la saturación. Por otra parte, como resulta habitual, las concentraciones son algo más bajas en las estaciones de control de la zona de Mutriku, con algunos valores inferiores a 5 mL·L<sup>-1</sup> y con valores más próximos a la saturación a medida que se incrementan la distancia y la profundidad.

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 las diferencias señaladas, 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.

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, con valores que pueden considerarse residuales aunque normales para la época estival. Por otra parte, aunque se registran algunos incrementos en las aguas subsuperficiales, no se llega al umbral de concentración de 1 µg·L<sup>-1</sup> y, por tanto, no aparece bien definido 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 el predominio, al menos en términos relativos, del hundimiento y la mezcla vertical que denota la reducida 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 reducida, y no se alcanza el umbral de 1 µg·L<sup>-1</sup> ni 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 máximos de transparencia, en términos de la profundidad de visión del disco de Secchi, se registran en las estaciones de referencia con 12 m y 10 m respectivamente, valores relativamente menores que los registrados en 2014. Recíprocamente, se registran valores algo más bajos del CAE y del color en las muestras de superficie. Para las estaciones más someras la transparencia equivale prácticamente a la profundidad total y, en la zona de Getaria, se registra un incremento, mientras que los valores en la zona de Mutriku son más homogéneos.

Los valores de la transmitancia en los niveles superficiales son también más bajos que los registrados en 2014, con los valores mínimos en las estaciones de control de la zona de Mutriku. Estos valores, como la transparencia, resultan bastante homogéneos, pero no coinciden con valores destacables de turbidez, color o sólidos en suspensión.

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.

De modo similar a lo observado en las campañas de años anteriores, las propiedades ópticas aparecen algo más afectadas en la zona de Mutriku que en la de Getaria. 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 corroboran dicha anotación. Por otra parte, en el contexto de las condiciones hidrometeorológicas descritas, la calidad óptica de ambas zonas puede considerarse como buena o muy buena.

### 5.1.5. Microbiología

Como puede observarse en la Tabla 3, los máximos de unidades formadoras de colonias de *E. coli*, de un orden muy similar, se registran en las estaciones M50 y G100. En la zona de Mutriku se da un gradiente de dilución algo más definido, mientras que en la zona de Getaria reaparecen valores positivos, del orden del 10% de los registrados en la estación G100, en la estación G400.

Al contrario que en 2014, no se ha registrado ningún resultado positivo para las unidades formadoras de colonias de *E. coli* en las estaciones de referencia, lo que resulta acorde con la menor extensión o mayor dilución de las plumas de baja salinidad asociada a la retención y mezcla vertical parcial.

Por otra parte, los dos máximos de densidad bacteriana coinciden también con un máximo muy destacado de fosfato en la estación G100 y con valores destacables de fosfato, y máximos de nitrato, nitrógeno total y carbono orgánico total en la estación M50.

Nuevamente, esta asociación no es tan clara como otros casos, en los que las densidades más altas de bacterias coinciden con máximos de la mayoría de los nutrientes y en los que resulta especialmente frecuente la coincidencia de máximos de amonio y fosfato. En el presente caso, las concentraciones de amonio y nitrito son muy bajas en todas las estaciones y también son muy bajas las de nitrato (inferiores al límite de cuantificación) en la zona de Getaria.

Teniendo en cuenta estas peculiaridades y el hecho de que hay muy poca diferencia entre la concentración de fosfato y la de fósforo total en la estación G100, podría pensarse que dicha mancha de bacterias estaría relacionada con un pulso de vertido con una concentración relativamente elevada de detergentes que, sin ser estrictamente fósforo inorgánico,

incrementan la concentración de ortofosfato en la determinación en medio ácido. En esta estación también se registra el máximo de carbono orgánico total de la zona de Getaria.

El otro valor singular de concentración de fosfato relacionado con manchas de bacterias se registra en la estación M50, En este caso sí aparece asociado a un máximo de nitrato y de nitrógeno total, y a una proporción más alta de fósforo orgánico. También coincide con el máximo de carbono orgánico total y con la concentración más elevada de silicato.

A pesar de estas peculiaridades apuntadas para la campaña de 2015, el patrón general de distribución está 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 los valores máximos registrados en cada zona de control se mantienen ligeramente por debajo del 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). Al aumentar la distancia, para las restantes estaciones de ambas zonas, los valores resultan inferiores al límite para la declaración de calidad excelente ( $250 \text{ UFC} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ ).

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

Como se ha indicado en el apartado de bacteriología, algunas de las manchas con valores destacables de la densidad de bacterias se asocian a máximos o valores destacados de la concentración de nutrientes. 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 este sentido, la distribución general de los nutrientes registrada en la presente campaña presenta bastantes singularidades, aunque también semejanzas con aspectos apuntados para la campaña de 2014.

A diferencia de algunas de las campañas anteriores, en las que se registraba una importante aportación del amonio al conjunto del nitrógeno inorgánico disuelto (NID), llegando a ser la forma mayoritaria en bastantes casos, las concentraciones registradas en la presente campaña se sitúan en niveles muy bajos en todas las estaciones. También son muy bajas las concentraciones de nitrato en la zona de Getaria. En la zona de Mutriku se

da un máximo destacable de nitrato en la estación M50, que se diluye progresivamente, con un patrón similar al referido para la densidad de bacterias, en las estaciones M100 y M200. En la estación M50, con el máximo de nitrato, se registran también un máximo relativo de fosfato y también las concentraciones más elevadas de silicato y de carbono orgánico total.

Como se ha comentado en la sección de microbiología, la concentración más elevada de fosfato se registra en la estación G100, asociada al máximo de bacterias de esa zona. Como se apuntaba también en el informe correspondiente a la campaña de 2014, este máximo podría estar relacionado con la presencia de detergentes, ya que, a diferencia de las concentraciones registradas en la estación M50, resulta muy poco proporcionado a la concentración de nitrato y al fósforo total. En el resto de las estaciones los valores son bajos, en el orden habitual de los valores superficiales en época de estratificación estival.

La distribución de silicato resulta algo más regular y, dentro de las singularidades citadas y de las diferencias de las plumas que originan el descenso de la salinidad en cada zona, las concentraciones de silicato superiores al límite de cuantificación presentan una cierta proporcionalidad con el porcentaje de agua dulce en superficie.

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, como el fosfato, 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.

El porcentaje de finos es bajo en ambas muestras, siendo dominante la fracción arenosa. Las únicas diferencias destacables respecto a la pasada campaña de 2014 son que, en M200 la fracción gravosa disminuye a la mitad, hasta valores de 2012 (en 2014 las gravas constituían el 21% del sedimento, frente al 10% en la presente campaña de 2015) y que la fracción fangosa también disminuye (del 5% en 2014, al 1% en 2015).

**Tabla 4.** Parámetros sedimentológicos de carácter general medidos en cada campaña de muestreo, para cada uno de los puntos de muestreo: composición granulométrica; materia orgánica (MO); potencial redox (REDOX).

MUESTRA	G400							M200							
	CAMPAÑA	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
GRAVAS (%)	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,8	1,4	0,0	9,7	0,1	21,2	9,7
ARENAS (%)	99,6	99,4	99,3	94,7	99,6	99,7	99,9	54,1	96,7	96,8	86,7	98,9	73,8	89,4	
FANGOS (%)	0,4	0,4	0,7	5,3	0,4	0,3	0,1	1,1	1,9	3,2	3,6	0,9	5,1	0,9	
MO (%)	0,9	1,0	1,4	1,5	2,2	1,9	1,4	1,1	1,6	1,8	5,5	5,8	3,2	1,8	
REDOX (mV)	278	346	122	179	344	250	256	177	261	73	448	204	81	26	

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 tanto en la muestra G400 como en M200 (1,4% y 1,8%, respectivamente). Destaca la disminución progresiva del porcentaje de materia orgánica en la estación M200 desde valores de 5,5% y 5,8 % en 2012 y 2013, respectivamente (más característico de zonas con fracción fangosa mayor), hasta valores de 3,2% y 1,8% en 2014 y 2015, respectivamente. Como en campañas anteriores, tanto en la muestra G400 como en M200, el potencial redox sigue siendo positivo (256 mV y 26 mV, respectivamente), lo que indica el carácter oxidante del sedimento.

En relación a la composición del sedimento, en pasadas campañas ya se planteó la hipótesis de que los cambios que se habían detectado entre 2009 y 2010-2011, y luego en 2012, 2013 y 2014, y ahora en 2015, no estaban necesariamente relacionadas 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.

Por otro lado, destaca la disminución de la concentración de materia orgánica medida en la estación M200 respecto a las medidas en 2012- 2014. 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 la presente campaña, como ya se ha indicado, sí se ha producido una nueva reducción en el contenido en materia orgánica, por lo que se podría confirmar que los cambios en el contenido en materia orgánica podrían estar relacionados con la jaula.

### 5.2.2. Contenido en metales pesados

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

En el apartado anterior se ha constatado que el porcentaje de finos en las dos muestras de sedimento es bajo. 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.).

**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	<0,1	13	36	18	19	<0,10	11	78	321	35.286
M200	<0,1	14	29	16	18	<0,10	10	70	223	23.576
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	-	-

Para el presente caso, en comparación con los valores de referencia señalados en la Tabla 5, las concentraciones de metales en los sedimentos analizados se sitúan en el orden de dichos valores, e incluso por debajo, aunque son algo mayores en varios casos. Así, cabe destacar el ligero enriquecimiento, respecto a los niveles de referencia calculados por Rodríguez *et al.* (2006) para la costa vasca, en las concentraciones de Mn y Fe en la estación G400, y de Cr en ambas estaciones.

Respecto a la campaña de 2014, las concentraciones de metales en la presente campaña son menores en ambas estaciones, excepto para el Pb y Fe en la estación G400 y el Mn en

ambas estaciones. Destaca la disminución en la concentración del Cd (en ambas estaciones) y del Hg (en la estación M200), para los cuales se alcanzan valores por debajo del límite de cuantificación ( $<0,1 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $<0.10 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente). En el caso del Cd esta disminución supone entre un 33% en la estación M200 y un 40% en la estación G400. En el caso del Hg, la concentración en la estación M200 se ha reducido a la mitad. La concentración de Cu se ha reducido un 30% con respecto a 2014 en la estación M200. En el caso del Cr, las concentraciones se han reducido un 27% con respecto a 2014 en la estación M200, y un 44% en la G400. La concentración de Ni se ha reducido a la mitad en ambas estaciones. Las de As y Zn se han reducido entre el 15% y el 30% en ambas estaciones.

Las mayores concentraciones en la estación G400 de Pb y Fe, suponen un incremento de alrededor del 30% y del 10% de las concentraciones medidas en 2014, respectivamente, Las mayores concentraciones de Mn en las estaciones G400 y M200 suponen un incremento del 12% y el 23% de las concentraciones medidas en 2014, respectivamente.

Probablemente, tal y como se comentaba en el informe correspondiente a la pasada campaña de 2014, estos 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 cambios reales de las concentraciones de metales de la zona.

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). 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 ningún metal supera el valor NBT en ninguna de las dos estaciones de estudio, 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 bastantes similitudes con lo observado en las campañas de los años precedentes, bien en los rangos observados en distintas variables, bien en algunas peculiaridades en la distribución de los nutrientes. Aunque se dan algunos casos con patrones de dilución bastante regulares, como por ejemplo, nitrato, silicato, carbono orgánico total y bacterias en la zona de Mutriku, nuevamente 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, especialmente para fosfato. Estos máximos, asociados también a máximos de bacterias, denotan aportes puntuales de cierta importancia.

Considerando en conjunto los aportes de nutrientes y materia orgánica, los valores máximos de concentración no resultan excesivos y afectan a un entorno relativamente reducido. Aunque en algunas estaciones se da un desequilibrio relativo entre las distintas formas de los nutrientes, 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 como 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.

En cuanto a los sedimentos, la baja proporción de finos indica una dinámica activa en ambas zonas y el predominio del transporte frente a la sedimentación. Los sedimentos no presentan carácter reductor. Igualmente, tanto de forma general, como en lo referente a la fracción fina, no presentan indicios de contaminación por metales, no detectándose cambios importantes, respecto a la pasada campaña de 2014 en la concentración de metales.

Además, ningún metal supera un factor de enriquecimiento de 2 respecto a los valores de referencia calculados para la costa vasca, ni tampoco se alcanzan los niveles bajos de toxicidad.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- BORJA, Á.; BALD, J.; BELZUNCE, M.J.; FRANCO, J.; GARMENDIA, J.M.; LARRETA, J.; MENCHACA, I.; MUXIKA, I.; REVILLA, M.; RODRÍGUEZ, J.G.; SOLAUN, O.; URIARTE, A.; VALENCIA, V.; ZORITA, I.; ADARRAGA, I.; AGUIRREZABALAGA, F.; CRUZ, I.; LAZA, A.; MARQUIEGUI, M.A.; MARTÍNEZ, J.; ORIVE, E.; RUIZ, J.M.; SEOANE, S.; SOLA, J.C.; MANZANOS, A. 2014. *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, 657 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.
- KRUMBEIN, W.C.; SLOSS, L.L. 1969. *Estratigrafía y Sedimentación*. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, México: 778 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
- 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.
- 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.

---

<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 2015  
(18/08/2015) 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>	20,589	34,712	24,385	76,96	119,3	0,35	5,48	107	8,23
<b>2</b>	20,477	34,761	24,453	76,51	129,8	0,37	5,48	107	8,23
<b>3</b>	20,331	34,784	24,510	76,03	150,3	0,43	5,35	104	8,21
<b>4</b>	20,230	34,804	24,551	75,46	186,8	0,47	5,20	101	8,21
<b>5</b>	20,120	34,830	24,600	75,10	237,6	0,53	5,18	100	8,21
<b>6</b>	20,066	34,840	24,622	75,62	296,2	0,54	5,14	99	8,21
<b>7</b>	20,043	34,844	24,632	75,44	281,9	0,52	5,17	100	8,22
<b>8</b>	19,996	34,854	24,651	74,87	263,3	0,54	5,21	101	8,21

Estación G200									
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>	20,648	34,753	24,401	75,49	1.086,8	0,47	5,42	106	8,23
<b>2</b>	20,525	34,760	24,439	74,84	943,5	0,45	5,42	106	8,22
<b>3</b>	20,427	34,773	24,476	74,21	731,8	0,48	5,32	104	8,22
<b>4</b>	20,273	34,801	24,538	74,11	632,5	0,55	5,19	101	8,21
<b>5</b>	20,210	34,813	24,564	74,23	498,1	0,56	5,22	101	8,22
<b>6</b>	20,198	34,812	24,566	74,27	442,4	0,60	5,20	101	8,22
<b>7</b>	20,155	34,821	24,585	74,28	349,9	0,63	5,18	100	8,22
<b>8</b>	20,122	34,829	24,599	74,37	307,1	0,67	5,18	100	8,22
<b>9</b>	20,026	34,846	24,637	74,27	254,4	0,71	5,18	100	8,22
<b>10</b>	19,990	34,854	24,653	74,30	220,0	0,77	5,15	100	8,22
<b>11</b>	19,902	34,878	24,694	74,30	184,0	0,80	5,14	99	8,22



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	20,579	34,745	24,413	74,58	1.198,8	0,50	5,09	100	8,20
2	20,297	34,799	24,530	74,33	887,0	0,50	5,10	99	8,21
3	20,229	34,811	24,557	74,30	662,3	0,53	5,22	101	8,22
4	20,166	34,824	24,583	74,45	552,9	0,56	5,28	102	8,23
5	20,092	34,840	24,615	75,91	478,3	0,57	5,29	102	8,23
6	20,016	34,856	24,647	76,44	392,6	0,53	5,35	104	8,23
7	19,948	34,868	24,674	76,48	334,4	0,52	5,37	104	8,23
8	19,937	34,867	24,677	75,83	284,8	0,57	5,32	103	8,22
9	19,935	34,866	24,676	75,61	247,3	0,66	5,33	103	8,22
10	19,936	34,866	24,676	75,53	214,8	0,69	5,26	102	8,22
11	19,937	34,865	24,676	75,69	182,5	0,73	5,24	101	8,22
12	19,900	34,867	24,687	75,39	159,0	0,75	5,26	102	8,22
13	19,864	34,880	24,706	74,60	139,8	0,79	5,27	102	8,22
14	19,840	34,876	24,709	74,20	121,2	0,82	5,24	101	8,22
15	19,817	34,877	24,716	74,01	103,5	0,87	5,23	101	8,22

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	20,648	34,727	24,381	73,93	121,9	0,59	5,36	105	8,23
2	20,599	34,737	24,402	74,39	127,3	0,58	5,40	105	8,23
3	20,531	34,769	24,445	75,09	134,2	0,56	5,40	105	8,23
4	20,482	34,785	24,470	76,19	164,3	0,55	5,38	105	8,24
5	20,411	34,823	24,518	76,65	197,0	0,49	5,41	105	8,24
6	20,242	34,860	24,591	77,15	255,7	0,44	5,41	105	8,24
7	20,201	34,862	24,604	77,48	237,0	0,36	5,42	105	8,24
8	20,172	34,866	24,614	77,50	229,2	0,37	5,42	105	8,24
9	20,144	34,869	24,624	77,47	220,8	0,40	5,42	105	8,24
10	20,071	34,879	24,651	77,58	198,0	0,42	5,46	106	8,24
11	19,968	34,886	24,683	77,79	168,5	0,46	5,45	105	8,24
12	19,896	34,884	24,701	77,82	156,0	0,48	5,46	106	8,24
13	19,851	34,879	24,709	77,77	138,7	0,53	5,46	105	8,23
14	19,755	34,886	24,739	77,57	121,9	0,59	5,46	105	8,23
15	19,506	34,930	24,838	77,53	108,0	0,76	5,42	104	8,23
16	19,307	34,952	24,906	77,87	98,3	0,82	5,40	103	8,22
17	19,258	34,957	24,922	77,99	87,1	0,82	5,37	103	8,22
18	19,215	34,959	24,935	77,78	78,1	0,77	5,39	103	8,21
19	19,164	34,962	24,950	77,45	70,6	0,73	5,36	102	8,21
20	18,918	34,991	25,035	76,86	60,1	0,69	5,36	102	8,21
21	18,645	35,028	25,133	76,79	55,2	0,61	5,34	101	8,21
22	18,449	35,050	25,199	77,94	46,7	0,60	5,35	101	8,21
23	18,249	35,073	25,266	79,10	42,7	0,55	5,40	101	8,21
24	18,122	35,086	25,308	79,78	37,7	0,53	5,46	102	8,21
25	18,076	35,085	25,318	79,73	33,9	0,47	5,45	102	8,20
26	18,051	35,085	25,325	79,69	29,9	0,43	5,46	102	8,20
27	18,014	35,088	25,336	79,75	27,2	0,44	5,46	102	8,20
28	17,975	35,086	25,344	79,70	24,9	0,44	5,46	102	8,20
29	17,873	35,097	25,378	79,69	22,7	0,43	5,45	101	8,20
30	17,569	35,126	25,474	79,57	21,0	0,44	5,45	101	8,20
31	17,188	35,181	25,609	79,46	19,3	0,41	5,47	101	8,19
32	17,578	35,341	25,637	79,36	22,3	0,42	5,34	99	8,19

***CAMPAÑA DE AGOSTO DE 2015  
(18/08/2015) 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
<b>Superficie</b>	20,252	34,782	24,529	72,52	846,5	0,45	4,93	96	8,16
<b>2</b>	20,211	34,820	24,568	73,18	595,5	0,45	4,97	97	8,16
<b>3</b>	20,179	34,836	24,589	73,02	532,7	0,43	4,95	96	8,17
<b>4</b>	20,154	34,847	24,605	72,05	409,5	0,46	4,99	97	8,18
<b>5</b>	20,090	34,860	24,631	71,13	305,3	0,50	5,03	98	8,18
<b>6</b>	19,941	34,885	24,690	71,57	252,4	0,55	5,07	98	8,18
<b>7</b>	19,795	34,906	24,744	72,60	192,9	0,58	5,06	98	8,18
<b>8</b>	19,778	34,905	24,747	71,75	153,4	0,52	5,02	97	8,18

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
Superficie	20,387	34,793	24,501	72,27	133,7	0,55	4,93	96	8,16
2	20,317	34,811	24,533	71,29	135,8	0,55	4,92	96	8,17
3	20,267	34,820	24,553	70,44	140,1	0,57	4,90	95	8,17
4	20,177	34,845	24,597	70,65	144,7	0,60	5,00	97	8,18
5	20,104	34,860	24,627	71,73	136,9	0,61	5,03	98	8,19
6	19,981	34,878	24,673	72,44	120,4	0,63	5,10	99	8,18
7	19,932	34,885	24,692	72,14	98,9	0,61	5,11	99	8,19
8	19,870	34,892	24,714	71,74	79,1	0,58	5,10	99	8,19
9	19,807	34,901	24,737	71,90	62,9	0,57	5,11	98	8,19
10	19,700	34,916	24,777	72,09	50,2	0,57	5,15	99	8,19
11	19,618	34,928	24,807	72,34	39,9	0,54	5,16	99	8,19
12	19,524	34,947	24,845	72,22	33,3	0,55	5,17	99	8,18

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
Superficie	20,367	34,791	24,505	72,71	433,7	0,49	4,88	95	8,17
2	20,311	34,803	24,529	72,35	326,1	0,56	4,90	95	8,18
3	20,304	34,808	24,535	72,26	293,7	0,60	4,99	97	8,18
4	20,219	34,843	24,584	72,33	205,7	0,62	5,07	99	8,19
5	20,106	34,859	24,626	72,43	178,0	0,61	5,09	99	8,19
6	19,980	34,879	24,675	72,43	142,1	0,61	5,11	99	8,19
7	19,917	34,884	24,695	71,67	116,5	0,60	5,13	99	8,19
8	19,814	34,899	24,733	73,64	94,6	0,57	5,13	99	8,19
9	19,720	34,911	24,768	74,57	79,0	0,58	5,14	99	8,19
10	19,660	34,919	24,789	74,80	66,4	0,58	5,15	99	8,20
11	19,640	34,920	24,795	74,97	57,6	0,58	5,14	99	8,20
12	19,572	34,931	24,821	74,97	49,4	0,58	5,18	99	8,20
13	19,507	34,947	24,850	74,57	43,1	0,56	5,18	99	8,19

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
Superficie	20,519	34,802	24,473	75,50	256,9	0,61	5,39	105	8,22
2	20,519	34,802	24,473	75,39	196,9	0,61	5,36	105	8,22
3	20,512	34,807	24,479	75,48	193,6	0,62	5,38	105	8,22
4	20,503	34,813	24,485	75,76	185,5	0,63	5,37	105	8,22
5	20,315	34,846	24,561	76,38	161,8	0,64	5,41	105	8,22
6	20,160	34,862	24,614	76,95	142,1	0,63	5,39	105	8,22
7	19,999	34,878	24,669	77,12	122,8	0,64	5,39	104	8,22
8	19,812	34,895	24,731	76,86	105,1	0,67	5,38	104	8,22
9	19,661	34,914	24,785	76,64	91,3	0,79	5,34	103	8,21
10	19,548	34,920	24,819	76,66	79,8	0,88	5,32	102	8,21
11	19,434	34,927	24,854	77,33	68,8	0,89	5,29	101	8,21
12	19,406	34,926	24,860	77,63	61,4	0,85	5,33	102	8,21
13	19,366	34,933	24,876	77,75	53,6	0,82	5,38	103	8,21
14	19,324	34,946	24,897	77,67	45,8	0,81	5,43	104	8,21
15	19,271	34,957	24,919	77,55	40,7	0,80	5,38	103	8,20
16	19,173	34,972	24,956	77,48	35,3	0,71	5,31	101	8,20
17	19,120	34,979	24,974	77,64	31,7	0,70	5,31	101	8,20
18	19,013	34,996	25,015	76,75	27,9	0,66	5,31	101	8,20
19	18,966	35,003	25,032	76,60	24,2	0,66	5,31	101	8,20
20	18,916	35,006	25,047	77,46	20,8	0,68	5,32	101	8,20
21	18,856	35,014	25,068	78,20	18,1	0,68	5,34	101	8,20
22	18,831	35,011	25,073	78,70	15,9	0,70	5,41	103	8,20
23	18,802	35,010	25,080	78,71	14,3	0,70	5,42	103	8,20
24	18,719	35,024	25,111	78,93	12,7	0,68	5,41	102	8,20
25	18,691	35,023	25,117	79,00	11,3	0,65	5,41	102	8,19
26	18,648	35,027	25,132	78,81	10,0	0,66	5,40	102	8,19
27	18,594	35,029	25,146	78,71	8,8	0,62	5,41	102	8,19
28	18,549	35,035	25,162	78,64	7,9	0,62	5,38	101	8,19
29	18,428	35,048	25,202	78,69	7,1	0,59	5,37	101	8,19
30	18,307	35,054	25,237	78,54	6,4	0,55	5,39	101	8,18
31	18,047	35,068	25,312	78,40	5,7	0,51	5,37	100	8,18
32	17,924	35,092	25,361	78,09	5,1	0,47	5,30	99	8,17