

COMITÉ DE PROTECCIÓN
DEL MEDIO MARINO
61º periodo de sesiones
Punto 2 del orden del día

MEPC 61/2/3
17 marzo 2010
Original: INGLÉS

ORGANISMOS ACUÁTICOS PERJUDICIALES EN EL AGUA DE LASTRE

Solicitud de aprobación inicial del sistema de gestión del agua de lastre de MES (FineBallast MF)

Nota presentada por el Japón

RESUMEN

<i>Sinopsis:</i>	El presente documento contiene información no confidencial para la aprobación inicial del sistema de gestión del agua de lastre de MES (FineBallast MF), de conformidad con lo dispuesto en el Procedimiento para la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre en los que se utilicen sustancias activas (D9), adoptado mediante la resolución MEPC.169(57).
<i>Principios estratégicos:</i>	7.1
<i>Medidas de alto nivel:</i>	7.1.2
<i>Resultados previstos:</i>	7.1.2.4
<i>Medidas que han de adoptarse:</i>	Véase el párrafo 6.
<i>Documentos conexos:</i>	BWM/CONF/36, MEPC 57/21, BWM.2/Circ.13 y BWM.2/Circ.24.

Introducción

1 La regla D-3.2 del Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques estipula que los sistemas de gestión del agua de lastre en los que se utilicen sustancias activas para cumplir lo dispuesto en dicho Convenio deberán ser aprobados por la Organización.

2 En el Procedimiento para la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre en los que se utilicen sustancias activas (D9), se definen los principales aspectos que deben documentarse con datos o pruebas (MEPC 57/21, anexo 1, párrafo 4.2.1) y algunos principios básicos para la evaluación de los riesgos (MEPC 57/21, anexo 1, párrafo 5.3). De conformidad con la sección 6 del Procedimiento (D9), la Organización deberá evaluar la información facilitada en la solicitud.

3 Según lo dispuesto en la circular BWM.2/Circ.24, las solicitudes de aprobación de los sistemas de gestión del agua de lastre en los que se utilicen sustancias activas deben presentarse a la División del Medio Marino de la Organización para que las examine el Grupo de trabajo del GESAMP sobre el agua del lastre. Entretanto, debe presentarse al MEPC 61 un documento sobre la solicitud de aprobación en el que figuren todos los datos no confidenciales relacionados con los sistemas de gestión del agua de lastre en los que se utilicen sustancias activas de que se trate.

4 La autoridad competente del Japón ha verificado el expediente de solicitud preparado por Mitsui Engineering and Shipbuilding Co. Ltd. (MES) y, en su opinión, cumple con los requisitos de información del Procedimiento (D9).

5 Por tanto, el Japón presenta a la Organización la parte de carácter no confidencial del expediente del solicitante en el anexo del presente documento para que se evalúe de conformidad con el Procedimiento (D9). El expediente completo se pondrá a disposición de los expertos del Grupo de trabajo del GESAMP sobre el agua de lastre, en el entendimiento de que el documento se tratará de manera confidencial.

Medidas cuya adopción se pide al Comité

6 Se invita al Comité a que examine la solicitud de aprobación y adopte las medidas que estime oportunas.

ANEXO

SOLICITUD DE APROBACIÓN INICIAL DEL SISTEMA DE GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE FINEBALLAST MF

Índice

1 INTRODUCCIÓN

- 1.1 Principios de funcionamiento del sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF"
- 1.2 Descripción del sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" y de sus componentes
- 1.3 Limpieza química
- 1.4 Muestreo y mediciones
- 1.5 Control y garantía de calidad (D9: 4.2.4)

2 DEFINICIONES

- 2.1 Términos y definiciones
- 2.2 Sustancias activas
- 2.3 Sustancias pertinentes

3 INFORMACIÓN SOBRE LA EFICACIA DE LA ELIMINACIÓN DE ORGANISMOS EN AGUA DE MAR NATURAL

- 3.1 Preparativos para las pruebas
- 3.2 Métodos de prueba
- 3.3 Resultados de las pruebas

4 INFORMACIÓN SOBRE LOS EFECTOS EN PLANTAS ACUÁTICAS, INVERTEBRADOS, PECES Y OTRAS BIOTAS, INCLUIDOS LOS ORGANISMOS SENSIBLES Y REPRESENTATIVOS (D9: 4.2.1.1)

- 4.1 Toxicidad acuática aguda
- 4.2 Toxicidad acuática crónica
- 4.3 Trastornos endocrinos
- 4.4 Toxicidad de los sedimentos
- 4.5 Biodisponibilidad/biomagnificación/bioconcentración
- 4.6 Efectos en la red alimentaria y las poblaciones

5 DATOS SOBRE LA TOXICIDAD EN LOS MAMÍFEROS (D9: 4.2.1.2)

- 5.1 Toxicidad aguda
- 5.2 Efectos en la piel y en los ojos
- 5.3 Toxicidad con dosis repetidas
- 5.4 Toxicidad crónica
- 5.5 Toxicidad para el desarrollo y la reproducción
- 5.6 Efectos carcinógenos
- 5.7 Mutagenicidad/genotoxicidad
- 5.8 Toxicocinética

6 DATOS SOBRE EL DESTINO EN EL MEDIO AMBIENTE Y LOS EFECTOS AMBIENTALES EN CONDICIONES AERÓBICAS Y ANAERÓBICAS (D9: 4.2.1.3)

- 6.1 Modos de degradación (biótica; abiótica)
- 6.2 Bioacumulación, coeficiente de repartición, coeficiente de repartición del logaritmo octanol/agua

- 6.3 Persistencia e identificación de los metabolitos principales en los medios pertinentes (agua de lastre, agua de mar y agua dulce).
- 6.4 Reacción con la materia orgánica
- 6.5 Posibles efectos físicos en la flora y la fauna y los hábitats bentónicos
- 6.6 Posibles residuos en los alimentos marinos
- 6.7 Efectos interactivos conocidos

7 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS SUSTANCIAS ACTIVAS Y LOS PREPARADOS Y DEL AGUA DE LASTRE TRATADA, CUANDO PROCEDA (D9: 4.2.1.4)

- 7.1 Propiedades físicas y químicas de la sustancia activa
- 7.2 Efectos corrosivos

8 MÉTODOS ANALÍTICOS EN CONCENTRACIONES QUE AFECTEN AL MEDIO AMBIENTE (D9: 4.2.1.5)

9 CARACTERIZACIÓN DE LOS RIESGOS

- 9.1 Análisis de la persistencia, bioacumulación y toxicidad
- 9.2 Prueba de toxicidad del agua de lastre tratada
- 9.3 Análisis de riesgos para los organismos acuáticos

10 EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS

- 10.1 Riesgo para la seguridad del buque
- 10.2 Riesgo para el medio ambiente

11 REFERENCIAS

12 APÉNDICES

- APÉNDICE I EXTRACTO DEL PLAN DE GARANTÍA DE CALIDAD DE PROYECTO
- APÉNDICE II INFORMES DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS
- APÉNDICE III INFORMES DE LAS PRUEBAS DE TOXICIDAD ACUÁTICA
- APÉNDICE IV INFORMES DE LAS PRUEBAS DE CORROSIÓN
- APÉNDICE V MODELO DE ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE H₂O₂ EN EL AIRE EN EL LUGAR DE TRABAJO
- APÉNDICE VI DATOS DE REFERENCIA SOBRE LA ECOTOXICIDAD DEL H₂O₂ Y EL CLOROFORMO EXTRAIDOS DE LA BIBLIOGRAFÍA
- APÉNDICE VII EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS
- APÉNDICE VIII EXPERIMENTO REALIZADO UTILIZANDO UN 10 % DE H₂O₂ COMO SOLUCIÓN DÉBIL PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE
- APÉNDICE IX ANÁLISIS DE MANGANESO PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Principios de funcionamiento del sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF"

En este sistema, el agua de lastre se procesa en la toma (lastrado) mediante microfiltración. Los organismos se eliminan totalmente cuando el agua pasa por la membrana en el procedimiento de separación y eliminación y no es necesaria ninguna otra forma de desinfección. Por tanto, el sistema "FineBallast MF" no utiliza sustancias activas para tratar el agua de lastre, aunque para el mantenimiento de la membrana se requiere un procedimiento químico de limpieza con H₂O₂, que equivale a una sustancia activa.

1.2 Descripción del sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" y de sus componentes

El sistema "FineBallast MF" es un sistema completo, y su proceso de funcionamiento se puede dividir en cuatro etapas: tratamiento previo, microfiltración, limpieza de la membrana con H₂O₂ y control. En la figura 1.1 se presenta un diagrama esquemático del sistema "FineBallast MF".

El sistema consta de los cuatro componentes enumerados a continuación (en los apartados 1.2.1 a 1.2.4 se ofrece una descripción de cada uno de ellos):

- .1 filtro inicial;
- .2 módulo de membrana;
- .3 unidad CIP (dispositivo de limpieza *in situ*); y
- .4 unidad de control.

Las secciones A, B y C de la figura 1.1 indican las muestras analizadas: "A" es el agua entrante antes de la filtración que cumple los requisitos de la OMI, "B" es el agua tratada para el lastrado o deslastrado y "C" es la solución de limpieza sometida a descontaminación de la unidad CIP antes del lastrado (véase la sección 1.4 en la que figura más información sobre la estrategia de muestreo).

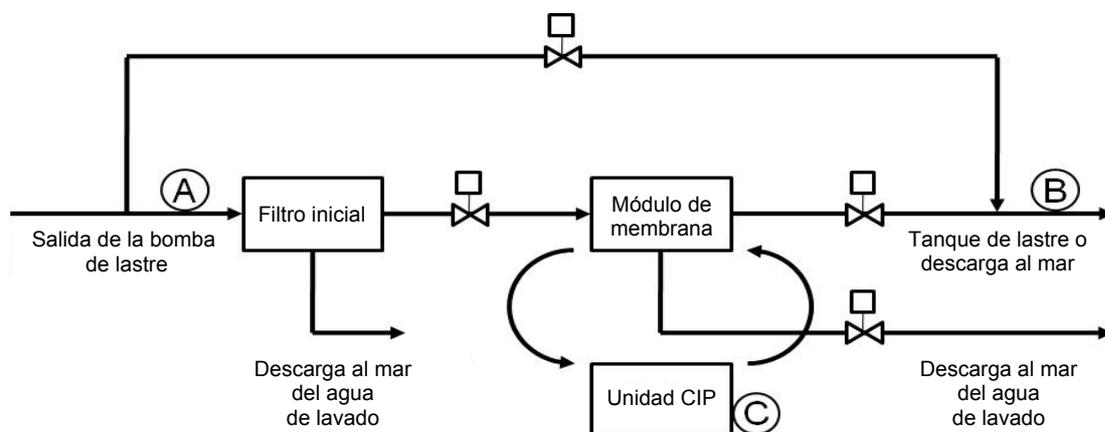


Figura 1.1: Diagrama esquemático de los procesos del sistema "FineBallast MF" y los puntos de muestreo (A, B, C)

1.2.1 Filtro inicial

El filtro inicial se compone de un filtro de 100 a 200 μm con lavado automático, el cual elimina las partículas y los organismos de mayor tamaño, para impedir el bloqueo del paso del flujo. Se selecciona un filtro adecuado con un diámetro inferior al del poro para bloquear el paso del flujo hacia el módulo de membrana. El funcionamiento y la limpieza del filtro se realizan de forma totalmente automática, sin que afecten al proceso de filtración, y el agua de lavado se descarga en el agua de mar *in situ*.

1.2.2 Módulo de membrana

El agua de lastre se procesa haciéndola pasar a través de la membrana en el momento de la toma (lastrado). La membrana empleada en este sistema tiene un tamaño de microporo extremadamente uniforme, y puede cumplir la norma D-2 sin necesidad de utilizar sustancias activas. Se puede mejorar el módulo de procesamiento del agua de lastre utilizando dos o más módulos de membrana. El sistema funciona de modo automático y los organismos filtrados por la membrana se devuelven al mar a intervalos regulares. La estructura del módulo de membrana aparece representada en la figura 1.2.

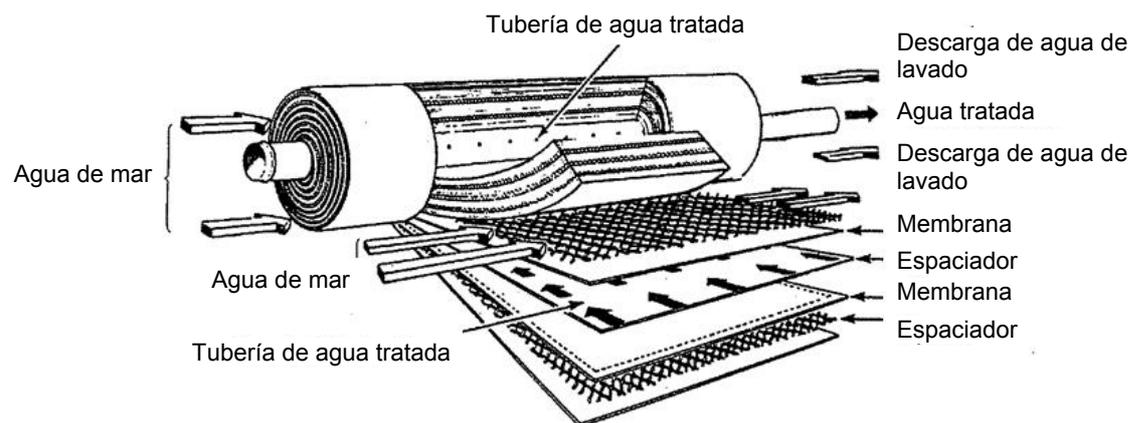


Figura 1.2: Proyecto del módulo de membrana

1.2.3 La unidad CIP

El sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" está equipado con una unidad de limpieza *in situ* (CIP), que utiliza H_2O_2 para eliminar los organismos adheridos a la membrana después del lastrado. La unidad CIP introduce una cantidad prescrita de H_2O_2 en el agua de mar reservada en la unidad de membrana e inicia el proceso de limpieza. Tras el proceso de limpieza, el H_2O_2 que queda en el agua de mar se descontamina mediante un catalizador. La unidad CIP está compuesta por un tanque de alimentación de H_2O_2 , un medidor de concentración, una bomba de suministro, un filtro y una unidad catalítica. Una vez finalizado el lastrado, la limpieza química se ejecuta automáticamente durante la navegación. En la figura 1.3 se muestra el diagrama esquemático del proceso de la unidad CIP.

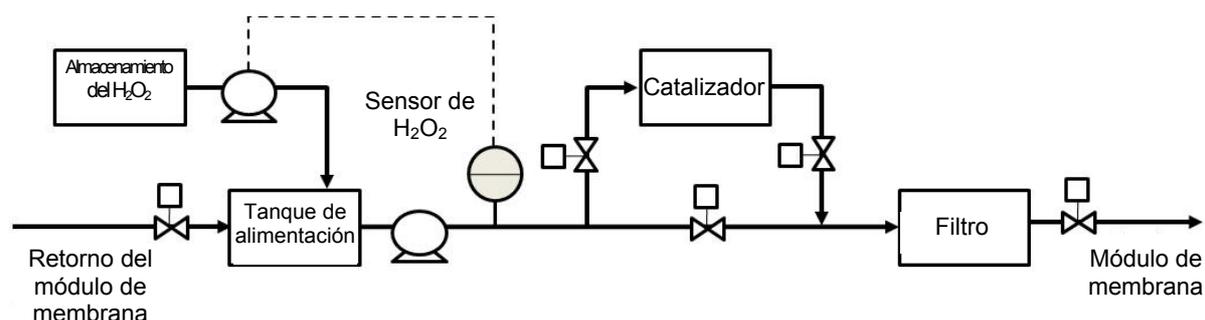


Figura 1.3: Diagrama esquemático del proceso de la unidad CIP

1.2.4 Unidad de control

La unidad de control controla el suministro de energía, la válvula de aire automática y la alarma de advertencia para todos los equipos del sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF".

La presente solicitud de aprobación inicial se centrará en el H₂O₂ utilizado en la unidad CIP. El módulo de membrana y otros componentes no se consideran pertinentes para la aprobación de las sustancias activas.

1.3 Limpieza química

Después de cada operación de lastrado, el módulo de membrana se limpia con agua de mar a la que se ha añadido H₂O₂. El H₂O₂ se añade al agua de mar circulante reservada en el módulo de membrana en una concentración de 15 000 mg/l o inferior. La limpieza química repite el ciclo de circulación y retención durante el tiempo prescrito para cada módulo de membrana. Una vez transcurrido el tiempo prescrito, el H₂O₂ que queda en el agua de mar se descontamina mediante un catalizador hasta alcanzar una concentración inferior a 1,0 mg/l, y esta agua de mar (solución de limpieza descontaminada) se envía al tanque de lastre en la siguiente operación de lastrado.

El volumen de la solución de limpieza descontaminada reservada es inferior a la capacidad de cada uno de los tanques de lastre. Por ejemplo, en el caso de un buque granelero de 56 000 TPM, la solución de limpieza descontaminada se diluiría a más de 1/70.

Funcionamiento de la instalación de prueba

Caudal	1,2 m ³ /h/módulo
Tiempo de limpieza química	12 h
Tiempo de descontaminación	6 h
Concentración (máxima) de H ₂ O ₂	15 000 mg/l (durante la limpieza)
Concentración (mínima) de H ₂ O ₂	Menos de 1 mg/l (tras la descontaminación)
Agua de dilución	Agua de mar
Material catalítico	Dióxido de manganeso
Velocidad espacial	inferior a 100 h ⁻¹
Método de análisis	Valoración por 0,001 N KMnO ₄

1.4 Muestreo y mediciones

En la figura 1.1 se indican los puntos de muestreo (A, B, C). Las muestras para los análisis químicos y de ecotoxicidad (véase el cuadro 1.1) se han tomado por triplicado del agua no tratada (A), del agua de mar tratada (B) y de la solución de limpieza descontaminada (C). La muestra (A) es agua no tratada que se empleará como control. La muestra (B) es agua tratada que se empleará en los análisis de rendimiento, los análisis químicos, las pruebas de toxicidad y las pruebas de corrosividad, respectivamente. La muestra (C) (agua de mar obtenida en el proceso de lavado en la unidad CIP) no está prescrita en el Procedimiento (D9) para las pruebas de toxicidad ni para los análisis químicos, pero se usa como muestra representativa de las condiciones más desfavorables en todas las pruebas de productos químicos residuales, de toxicidad y corrosividad, a excepción de los análisis de rendimiento.

Se efectúa un muestreo de agua de mar conforme a las directrices con el fin de analizar (véase el cuadro 1.1):

- si la calidad del agua empleada en la prueba inicial (A) cumple los criterios químicos y biológicos relativos a la calidad del agua definidos por la OMI;
- la eficacia del sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" a la hora de eliminar o desactivar los organismos objetivo durante el lastrado después de cinco días de almacenamiento (B);
- la toxicidad ambiental aguda y crónica del agua después de cinco días de almacenamiento desde el momento del lastrado (B);
- la corrosividad del agua de mar tratada después de cinco días de almacenamiento desde el momento del lastrado (B);
- la formación de subproductos después del tratamiento con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF", en el día 0 después del lastrado (B), y en el día 5 posterior al lastrado (B); y
- la toxicidad aguda y crónica de la solución de limpieza descontaminada (C), que se utilizará como hipótesis de descarga más desfavorable después de cinco días de almacenamiento.

Las muestras de agua (A, B, C), tomadas y almacenadas durante cinco días tras el inicio del muestreo (día 0), se emplearon en las pruebas de toxicidad realizadas con todas las especies de prueba (agua de mar o agua salobre), pero, para las especies de peces se tomaron muestras de agua adicionales (A, B, C) en el día 2 y se utilizaron para renovar el agua. En la instalación de pruebas se repitió el proceso para el muestreo del día 2.

Las muestras, almacenadas durante cinco días a temperatura ambiente (20 °C), se utilizaron en los análisis químicos y las pruebas toxicológicas, de acuerdo con las prescripciones que figuran en las Directrices (D8) (MEPC 58/23). El almacenamiento tiene por objeto simular las condiciones del agua deslastrada en un periodo determinado (cinco días como mínimo) posterior a su almacenamiento en los tanques de lastre.

Cuadro 1.1: Información sobre las muestras para el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF"

Muestra para		Lugar de muestreo			Mediciones <i>in situ</i>	Medición exterior
Efectos corrosivos		A	B	C	-	Efectos corrosivos
Toxicidad	Día 5 después del lastrado	A	B	C	- OD - pH - H ₂ O ₂ - Salinidad - TRO - Temperatura - TSS - COP - COD	<i>Brachionus plicatilis</i> (rotífero). <i>Skeletonema costatum</i> (algas) <i>Monocorophium acherusicum</i> (anfípodo) <i>Ruditapes philippinarum</i> (bivalvos) <i>Cyprinodon variegates</i> (peces)
Análisis químico	Día 5 después del lastrado	A	B	C		Cloro libre Tiosulfato Bromato Bromoformo Cloroformo Dibromoclorometano Diclorobromometano Ácido monobromoacético Ácido dibromoacético Ácido tribromoacético Ácido monocloroacético Ácido dicloroacético Ácido tricloroacético Ácido bromocloroacético Dibromoacetónitrilo 1,2,3-tricloropropano

Se midió la temperatura, la salinidad, el pH y la concentración de oxígeno disuelto de las muestras utilizadas para las pruebas de toxicidad aguda y crónica con agua de mar y para las pruebas de toxicidad aguda y crónica con agua salobre antes y después de las pruebas. En el cuadro 1.2 figuran los resultados de las mediciones *in situ*.

Se utilizaron las mismas muestras —tomadas y almacenadas durante cinco días en las mismas condiciones antes de la prueba— en cada uno de los protocolos de pruebas químicas y toxicológicas para un determinado tiempo y tratamiento de prueba.

Cuadro 1.2: Resultados de la medición de la calidad del agua de las muestras para todos los análisis en intervalos consecutivos

Finalidad del análisis	Identificador de la muestra	Fecha de muestreo	Almacenamiento después del tratamiento (d)	pH	Temperatura (°C)	Salinidad (psu)	Oxígeno disuelto (mg/l)	
Análisis químico durante la prueba de toxicidad aguda con agua de mar	A	2009/09/07	5	8,2	24,2	33,4	7,6	
	B	2009/09/07	5	8,4	24,7	33,7	7,5	
	C	2009/09/08	5	7,7	26,1	34,3	7,4	
Análisis químico durante la prueba de toxicidad crónica en peces	Nº1	A	2009/09/07	5	8,2	24,2	33,4	7,6
		B	2009/09/07	5	8,4	24,7	33,7	7,5
		C	2009/09/08	5	7,7	26,1	34,3	7,4
	Nº2	A	2009/09/17	5	8,1	25,7	33,1	7,5
		B	2009/09/17	5	8,2	26,2	33,4	7,8
		C	2009/09/18	5	7,8	26,9	33,2	7,4
	Nº3	A	2009/09/27	5	7,9	25,5	33,2	7,4
		B	2009/09/27	5	8,1	25,4	33,4	7,6
		C	2009/09/28	5	7,8	25,7	33,5	6,9
	Nº4	A	2009/10/07	5	8,2	25,4	34,0	7,6
		B	2009/10/07	5	8,1	25,3	34,3	7,4
		C	2009/10/08	5	7,7	25,5	34,5	6,7
Análisis químico durante la prueba de toxicidad aguda con agua salobre	A	2009/10/07	5	8,2	25,4	21,0	7,6	
	B	2009/10/07	5	8,1	25,3	21,2	7,4	
	C	2009/10/08	5	7,7	25,5	21,1	6,7	

1.5 Control y garantía de calidad (D9: 4.2.4)

El control y la garantía de calidad revisten una importancia vital y su objetivo esencial es presentar resultados analíticos fiables con una calidad definida. Todos los procesos de prueba que se realizan en los laboratorios de análisis incorporan un riguroso programa de control y garantía de calidad, consistente en un plan de gestión de calidad y un plan de garantía de calidad de proyecto.

Todos los análisis se han llevado a cabo siguiendo métodos normalizados y las pruebas de toxicidad se han realizado bajo la supervisión de KORDI (Instituto de Desarrollo e Investigación Oceánica de Corea), Korea Testing & Research Institute (KTR, Instituto coreano de pruebas e investigación) y NeoEnBiz. El laboratorio del Instituto KORDI posee la acreditación KOLAS (plan de acreditación de laboratorios de Corea) para los análisis de fitoplancton y microorganismos. El director de estudios de KORDI está autorizado por IOC-UNESCO para realizar la identificación de microalgas perjudiciales (apéndice I). El laboratorio KTR posee la acreditación KOLAS para los análisis químicos de las muestras del medio ambiente. Todas las pruebas ecotoxicológicas fueron realizadas por NeoEnBiz Institute según las buenas prácticas de laboratorio. En cada uno de los informes de prueba (apéndice III) figuran datos sobre garantía de calidad. Aunque NeoEnBiz no está acreditado específicamente para realizar pruebas toxicológicas, y no se necesite acreditación para realizar pruebas de toxicidad, cuenta con laboratorios especializados en ecotoxicología y personal con una sólida experiencia en numerosas investigaciones toxicológicas, financiadas mayoritariamente por el Gobierno coreano (por ejemplo, el Ministerio de Tierras, Transporte y Asuntos Marítimos). También ha realizado pruebas de toxicidad para la aprobación de sistemas de gestión del agua de lastre anteriores, entre los cuales cabe mencionar el sistema GloEn-Patrol™ de Panasia Co. (MEPC 59/2/7).

2 DEFINICIONES

2.1 Términos y definiciones

2.1.1 **"FineBallast MF"** BWMS es el nombre comercial del sistema de gestión del agua de lastre desarrollado y utilizado por Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd. El sistema se compone de un módulo de microfiltrado con un componente de tratamiento previo (filtración previa para grandes partículas, de más de 100 a 200 micrómetros), una unidad CIP y una unidad de control (véase el apartado 1.2). El sistema "FineBallast MF" trata las aguas de lastre en el lastrado. Durante el lastrado, el agua de mar es tratada únicamente mediante filtración. Las partículas y organismos marinos retenidos en el filtro de membrana se descargan de nuevo en el mar a través del proceso de lavado del filtro. Sin embargo, para el mantenimiento del filtro de membrana se emplea el agente oxidante H₂O₂ en el proceso de limpieza.

2.1.2 **"Agua tratada"** se refiere al agua tratada por el sistema "FineBallast MF".

2.1.3 **"Descarga de agua de lastre"** se refiere al agua de lastre descargada en el mar una vez que ha sido sometida a tratamiento con el sistema "FineBallast MF".

2.1.4 **"Sustancia activa"** en el sistema "FineBallast MF" se define como H₂O₂ (peróxido de hidrógeno), que se usa para la limpieza del módulo de membrana. Puede quedar una cantidad pequeña de H₂O₂ en el agua tratada.

2.1.5 **"Preparado"** – En el sistema "FineBallast MF" no se utiliza ningún preparado según la definición que figura en el Procedimiento (D9).

2.1.6 **"Productos químicos pertinentes"** – Debido al efecto oxidante del H₂O₂, las reacciones de oxidación pueden producir compuestos de oxígeno reactivo, por ejemplo, radicales hidroxilo (OH•). El radical hidroxilo puede reaccionar con diferentes productos químicos clorados y bromados en el agua de mar natural y producir diversos compuestos de cloro y bromo. Por tanto, a efectos de la presente solicitud, los subproductos derivados de la oxidación de los radicales hidroxilo (OH•) se pueden definir como "productos químicos pertinentes".

2.2 Sustancias activas

El H₂O₂ es un líquido incoloro transparente que generalmente se manipula en una solución acuosa. En sí mismo, el H₂O₂ es estable (a una temperatura y una presión normales). Las soluciones acuosas puras en contenedores inertes limpios son relativamente estables, dándose la estabilidad máxima con un pH entre 3,5 y 4,5. Las soluciones comerciales deben estabilizarse con aditivos para evitar la posible descomposición violenta debida a las impurezas catalíticas o a temperaturas y presión elevadas.

Aunque el H₂O₂ no es inflamable, existe riesgo de incendio debido a la reacción química de esta sustancia con materiales inflamables, dado que el H₂O₂ es un potente oxidante, en particular en estado concentrado, y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, entrañando riesgos de incendio y explosión.

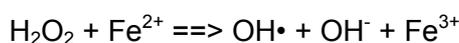
El H₂O₂ puede comportarse como agente oxidante y como agente reductor.

Como agente oxidante:	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \implies 2H_2O$	$E_o = + 1,763 \text{ V con pH } 0$
	$HO_2^- + H_2O + 2e^- \implies 3OH^-$	$E_o = + 0,878 \text{ V con pH } 14$

Como agente reductor:	$H_2O_2 \implies O_2 + 2H^+ + 2e^-$	$E_o = - 0,66 \text{ V a pH } 0$
	$HO_2^- + OH^- \implies O_2 + H_2O + 2e^-$	$E_o = + 0,08 \text{ V a pH } 14$

El H₂O₂ se utiliza ampliamente como agente oxidante y reductor. En estas reacciones de reducción-oxidación, el H₂O₂ normalmente se degrada. En las reacciones de adición, la molécula completa de H₂O₂ se une a otra molécula para formar perhidratos (análogos a los hidratos, por ejemplo, Na₂CO₃•1.5H₂O₂, (NH₂)₂CO•H₂O₂). En las reacciones de sustitución, el grupo peróxido se transfiere a otra molécula y se reemplazan los átomos de hidrógeno (por ejemplo, compuestos peróxidos). El H₂O₂ también forma sales estables con determinados cationes (por ejemplo, K₂O₂).

El H₂O₂ se ha utilizado durante mucho tiempo como alguicida y bactericida, en concentraciones dentro de la gama milimolar (por ejemplo, 0,2 a 1,5 mmol/l contra las cianobacterias filamentosas; Barroin y Feuillade, 1986). El H₂O₂ es un potente oxidante capaz de causar daños a los ácidos nucleicos, las proteínas y los pigmentos. Si bien estos daños pueden ser el resultado de una reacción directa entre las biomoléculas y el H₂O₂, muchos de estos efectos se producen por la reacción de Fenton, en la que se generan más oxidantes reactivos, en particular radical hidroxilo (OH•):



La extremada reactividad del radical hidroxilo (OH•) viene determinada por su corto periodo biológico, generalmente medido en nanosegundos. Los radicales hidroxilo (OH•) atacan a los ácidos nucleicos, las proteínas y las membranas y, en consecuencia, escasas partes de la célula son inmunes a sus efectos; incluso las catálisis y las peroxidases son atacadas y degradadas por esta especie de oxígeno altamente reactiva.

2.3 Productos químicos pertinentes

Es probable que la reacción de los radicales hidroxilo (OH•) con iones de cloro y bromo presentes de manera natural en el agua de mar, durante la limpieza del microfiltro con una solución de aproximadamente el 1,5 % de H₂O₂, produzca los subproductos oxidativos residuales que se enumeran en el cuadro 2.1. Dado que la solución de limpieza se cataliza durante más de seis horas por el dióxido de manganeso antes de transferirla al tanque de lastre, la concentración del H₂O₂ restante y sus subproductos oxidativos disminuye en el tanque de lastre por debajo de un determinado nivel (para el H₂O₂, menos de 1 mg/l).

La concentración notificada de manganeso en el agua de mar es de 0,4 a 10 µg/l (EPA de los Estados Unidos, 1984). En las pruebas en banco, en la solución de limpieza descontaminada se encontró una concentración máxima de manganeso disuelto de 0,198 mg/l. Cuando llega al tanque de lastre, la solución de limpieza descontaminada se diluye al menos 70 veces o más. Por tanto, cabe esperar que la concentración del manganeso disuelto restante en la solución de limpieza descontaminada disminuya por debajo del límite de concentración con efectos ambientales (véase el apéndice IX).

Las concentraciones de posibles productos químicos pertinentes se midieron en la solución de limpieza descontaminada, así como en el agua tratada después de un periodo de almacenamiento de cinco días. La solución de limpieza descontaminada se diluye al menos 70 veces tras su transferencia al tanque de lastre, por lo que se prevé que la concentración de los productos químicos pertinentes restantes en la misma se reducirá considerablemente.

En la unidad CIP pueden producirse diversos productos químicos por la reacción de algunos productos químicos oxidantes como el H₂O₂ con el agua de mar. Sin embargo, hasta ahora se sabe que sólo un número limitado de productos químicos son potencialmente perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas. En el cuadro 2.1 se enumeran los productos químicos pertinentes potencialmente perjudiciales que pueden producirse por la

reacción de productos químicos oxidantes con el agua de mar, según el documento MEPC 59/2/13. Debe comprobarse la presencia de estos productos químicos en el agua de lastre tratada cuando se utilicen productos químicos oxidantes en cualquier cantidad que entre en contacto con el agua de mar.

Los productos químicos enumerados en el cuadro 2.1 fueron analizados en muestras de agua tratada, de la solución de limpieza descontaminada y de agua no tratada, para evaluar el riesgo generado por los subproductos presentes en los efluentes del sistema de gestión del agua de lastre sometido a prueba. Se incluyó la medición de las muestras de la solución de limpieza descontaminada para evaluar la seguridad ambiental en las condiciones más desfavorables.

Cuadro 2.1: Resumen de los posibles productos químicos pertinentes en el agua de lastre con la utilización de productos químicos oxidativos como sustancias activas

Ingrediente (nombre UIQPA)	Números de identificación (CAS)	Fórmula química	Peso molecular (g/mol)
Oxidante residual total	-	-	-
Cloro libre	-	-	-
Tiosulfato de sodio	7772-98-7	Na ₂ S ₂ O ₃	158,11
Bromato de sodio	7789-38-0	NaBrO ₃	150,9
Bromoformo	75-25-2	CHBr ₃	252,73
Cloroformo	67-66-3	CHCl ₃	119,38
Dibromoclorometano	124-48-1	CHBr ₂ Cl	208,28
Diclorobromometano	75-27-4	CHBrCl ₂	163,83
Ácido monobromoacético	79-08-3	C ₂ H ₃ BrO ₂	138,95
Ácido dibromoacético	631-64-1	C ₂ H ₂ Br ₂ O ₂	217,84
Ácido tribromoacético	75-96-7	C ₂ H ₁ Br ₃ O ₂	296,74
Ácido monocloroacético	79-11-8	C ₂ H ₃ ClO ₂	94,5
Ácido dicloroacético	79-43-6	C ₂ H ₂ Cl ₂ O ₂	128,94
Ácido tricloroacético	76-03-9	C ₂ H ₁ Cl ₃ O ₂	163,36
Ácido bromocloroacético	5589-96-8	C ₂ H ₂ BrClO ₂	173,39
Dibromoacetónitrilo	3252-43-5	C ₂ HBr ₂ N	198,84
1,2,3-tricloropropano	96-18-4	C ₃ H ₅ Cl ₃	147,43

3 INFORMACIÓN SOBRE LA EFICACIA DE ELIMINACIÓN DE ORGANISMOS EN AGUA DE MAR NATURAL

La eficacia de los sistemas de gestión del agua de lastre que producen sustancias activas fue evaluada por la administración de conformidad con las Directrices para la aprobación de dichos sistemas (D8). Dichas Directrices (D8) incluyen prescripciones generales para el proyecto y la construcción, así como procedimientos técnicos de evaluación y para la expedición del Certificado de homologación del sistema de gestión del agua de lastre. Estas Directrices (D8) son específicas con respecto a las prescripciones para la homologación de equipos marinos tradicionales, ya que para la homologación de los sistemas de gestión del agua de lastre es necesario realizar pruebas en tierra y a bordo de los buques.

3.1 Preparativos para las pruebas

3.1.1 Limpieza de tanques y tuberías

Los tanques de agua para la prueba se limpiaron con agua de mar bombeada desde el mar, para eliminar la suciedad y los residuos que quedaban en los mismos. También se lavó cada tanque con agua dulce a presión después de cada prueba.

3.1.2 Agua de prueba

El agua de prueba se preparó en un tanque de 10 m³, empleando agua de mar con un alto nivel de salinidad procedente de la Bahía de Jangmok o agua salobre obtenida añadiendo aguas freáticas al agua de mar de la Bahía de Jangmok, en función de la salinidad requerida (> 32 psu o 3-32 psu, respectivamente, con una diferencia mínima de 10 psu). Los 10 m³ de agua de prueba se emplearon tanto para las pruebas como para el control.

Se añadió una combinación de organismos autóctonos y especies cultivadas alternativas (> 50 µm: *Artemia salina*; 10 µm a 50 µm: *Amphidinium carterae*, *Scrippsiella trochoidea* y/o especies de *Tetraselemis*) para cumplir con los criterios de calidad biológica del agua. Dependiendo de la abundancia de organismos autóctonos y de las condiciones de cultivo, se utilizó una o más especies cultivadas al mismo tiempo. Asimismo, se añadió glucosa soluble, algas en polvo y un preparado de lodo, para que las concentraciones iniciales de carbono orgánico disuelto (COD), carbono orgánico particulado (COP) y total de sólidos en suspensión (TSS) cumplieran los criterios de calidad química del agua.

3.2 Métodos de prueba

Todas las redes utilizadas para la concentración de organismos en la instalación de pruebas deben estar estrictamente separadas en tres grupos (cada uno con dos tipos de red, con mallas de 7 µm y de 45 µm en diagonal) para evitar la contaminación transversal.

3.2.1 Temperatura y salinidad

La temperatura y la salinidad se midieron con una sonda YSI 6600 con varios parámetros de calidad del agua.

3.2.2 pH

El medidor de pH fue el modelo 1230, fabricado por Orion Research Inc.

3.2.3 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto se midió utilizando una sonda YSI 6600 con varios parámetros de calidad del agua.

3.2.4 Determinación del carbono orgánico disuelto (UNESCO, 1994)

Para el análisis de carbono orgánico disuelto (COD) se aplicó el proceso "UNESCO, 1994".

3.2.5 Determinación del carbono orgánico particulado disuelto (UNESCO, 1994)

Para el análisis de carbono orgánico particulado disuelto se aplicó el proceso "UNESCO, 1994".

3.2.6 Determinación del total de sólidos en suspensión (APHA, 1995)

Para el análisis del total de sólidos en suspensión se aplicó el proceso "APHA, 1995".

3.2.7 Prueba de viabilidad de los organismos

Organismos \geq de 10 a 50 μm

La eficacia de desinfección del sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" en organismos de tamaño entre 10 y 50 μm (fundamentalmente fitoplancton) se evaluó mediante tres tipos de mediciones, utilizando un microscopio óptico, un microscopio de epifluorescencia y un fluorómetro (Turner Designs 10-AU).

Organismos $>$ 50 μm

La supervivencia de los organismos mayores de 50 μm (fundamentalmente zooplancton) se determinó examinando el movimiento de los apéndices en un microscopio estereoscópico (APHA-804C, 1985).

Recuento DAPI para bacterias heterotróficas

Para establecer el estado del agua entrante se fijó una cantidad de 50 ml de agua de mar con formalina neutralizada (concentración final: 2 % a 4 %). Un mililitro de agua de mar bien fijada se tiñe con 0,2 ml de solución DAPI (6-diamidino-2-fenilindol). Después de 5 minutos, se realizó la contabilización de al menos diez campos bajo un filtro ultravioleta con un microscopio fluorescente de mil aumentos.

Indicador de microbios

El análisis de microbios que se realizó en esta prueba es el siguiente:

Escherichia coli (*E. coli*)
Vibrio cholerae (serotipos O1 y O139)
Enterococos

Por último, la prueba mencionada anteriormente se realizó también con agua destilada desinfectada, al objeto de confirmar, a modo de control, si existía contaminación. En el cuadro 3.1 se resume la calidad del agua en cada una de las pruebas.

Cuadro 3.1: Breve resumen de las calidades de las aguas de prueba utilizadas en las pruebas en tierra (el paréntesis indica la desviación estándar)

	Prueba 1 (Agua de mar)	Prueba 2 (Agua salobre)
Salinidad (PSU)	32,3 (±0,01)	21,4 (±0,01)
COD (mg/l)	2,8 (±1,6)	5,4 (±0,4)
COP (mg/l)	1,1 (±0,0)	5,9 (±0,6)
TSS (mg/l)	27,3 (±8,4)	63,3 (±1,5)

3.3 Resultados de las pruebas

3.3.1 Prueba 1 (agua de mar)

La concentración de organismos en las muestras de agua utilizadas para las pruebas en tierra se estableció siguiendo las Directrices (D8). En el Cuadro 3.2 se resume la calidad del agua correspondiente a esta ubicación. El rango de la concentración de organismos para el grupo de organismos de tamaño superior a 50 µm se situó entre 177 480 y 194 880 individuos/m³, mientras que el del grupo entre 10 µm y 50 µm fue de 1 845 a 2 150 individuos/ml, en el agua de prueba (cuadro 3.3). El rango de densidad de población bacteriana heterotrófica fue de 1,9 a 2,8 × 10⁶ individuos/ml en el agua de prueba (cuadro 3.3). Sin embargo, después del tratamiento con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF", el número de organismos vivos para todos los grupos de agua tratada cumplía la norma D-2.

Cuadro 3.2: Calidad del agua de la prueba 1

Fecha	Muestra	pH	Temperatura (°C)	Salinidad (PSU)	OD (mg/l)	TSS (mg/l)	COD (mg/l)	COP (mg/l)
2009/09/16	Agua de prueba	8,0	25,4	32,3	6,5	27,3	2,8	1,1
2009/09/21	Agua no tratada	7,9	20,4	32,2	6,6	21,1	1,8	0,7
2009/09/21	Agua tratada	8,0	20,3	32,1	7,3	13,2	1,6	0,3

Cuadro 3.3: Eficacia biológica del sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" sobre la base de la prueba en tierra (Prueba 1)

Fecha	Muestra	Nivel de muestreo	50µm< (individuos/m ³)	10~50 µm (individuos/ml)	Bacterias heterotróficas (individuos/ml)	<i>E. coli</i> (ufc/100 ml)	<i>Vibrio cholerae</i> (ufc/100 ml)	Enterococcus (ufc/100 ml)
2009/09/16	Agua de prueba	20 %	180 960	1 898	2,8E+06	9 683	ND	328
		50 %	177 480	1 845	1,9E+06	6 217	ND	165
		80 %	194 880	2 150	2,4E+06	3 033	ND	195
2009/09/21	Agua no tratada	20 %	4 361	28	–	ND	ND	10
		50 %	9 135	25	–	ND	ND	1
		80 %	42 723	1 560	–	ND	ND	7
2009/09/21	Agua tratada	20 %	ND	ND	–	ND	ND	8
		50 %	ND	ND	–	ND	ND	4
		80 %	ND	ND	–	ND	ND	16

*ND: no detectable.

3.3.2 Prueba 2 (agua salobre)

La concentración de organismos en las muestras de agua utilizada para las pruebas en tierra se estableció siguiendo las Directrices (D8). En el Cuadro 3.4 se resume la calidad del agua para esta ubicación. El rango de la concentración de organismos para el grupo de organismos de tamaño superior a 50 µm se situó entre 123 200 y 132 825 individuos/m³, mientras que el del grupo entre 10 µm y 50 µm fue de 1 627 a 1 878 individuos/mL, en el agua de prueba (cuadro 3.5). El rango de densidad de población bacteriana heterotrófica fue de 2,3 a 2,9 × 10⁶ individuos/ml en el agua de prueba (cuadro 3.5). Sin embargo, después del tratamiento con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF", el número de organismos vivos para todos los grupos de agua tratada cumplía la norma D-2.

Cuadro 3.4: Calidad del agua de la prueba 2

Fecha	Muestra	pH	Temperatura (°C)	Salinidad (PSU)	OD (mg/l)	TSS (mg/l)	COD (mg/l)	COP (mg/l)
2009/10/07	Agua de prueba	7,6	20,9	21,4	6,5	63,3	5,4	5,9
2009/10/12	Agua no tratada	7,5	16,3	21,2	4,8	42,9	2,8	1,3
2009/10/12	Agua tratada	7,8	16,3	20,9	7,0	6,6	1,9	0,8

Cuadro 3.5: Eficacia biológica del sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" sobre la base de la prueba en tierra (Prueba 2)

Fecha	Muestra	Nivel de muestreo	50µm< (individuos/m ³)	10~50 µm (individuos/ml)	Bacterias heterotróficas (individuos/ml)	<i>E. coli</i> (ufc/100 ml)	<i>Vibrio cholerae</i> (ufc/100 ml)	<i>Entero coccus</i> (ufc/100 ml)
2009/ 10/07	Agua de prueba	20 %	132 825	1 878	2,8E+06	ND	ND	18
		50 %	130 900	1 627	2,3E+06	83	ND	14
		80 %	123 200	1 760	2,9E+06	33	ND	43
2009/ 10/12	Agua no tratada	20 %	1 740	15	–	300	ND	ND
		50 %	4 172	26	–	333	ND	40
		80 %	4 869	3 430	–	2 567	ND	3 333
2009/ 10/12	Agua tratada	20 %	ND	1	–	ND	ND	ND
		50 %	ND	3	–	ND	ND	ND
		80 %	ND	ND	–	ND	ND	ND

*ND: no detectable.

4 INFORMACIÓN SOBRE LOS EFECTOS EN PLANTAS ACUÁTICAS, INVERTEBRADOS, PECES Y OTRAS BIOTAS, INCLUIDOS LOS ORGANISMOS SENSIBLES Y REPRESENTATIVOS (D9: 4.2.1.1)

En esta sección se evalúan los efectos de los preparados y sus componentes sobre los organismos y el medio ambiente cuando se liberan con el agua de lastre tratada o de manera accidental durante el proceso.

Los efectos del agua no tratada (A) y del agua tratada (B), así como de la solución de limpieza descontaminada (C) sobre diferentes organismos marinos se compararon en las pruebas de toxicidad aguda con agua de mar y agua salobre, y también en las pruebas de toxicidad crónica con agua de mar. La solución de limpieza sin diluir (C), que inicialmente contenía 1,0 %~1,5 % de H₂O₂ y que, en consecuencia, fue catalizada mediante MnO₂, se incluyó como la hipótesis más desfavorable.

4.1 Toxicidad acuática aguda

No se observó una toxicidad aguda mucho más elevada en las muestras de agua de lastre tratada (B) y de la solución de limpieza descontaminada (C) en comparación con las muestras de agua no tratada (A), utilizando tanto agua de mar (34 psu) como agua salobre (21 psu). En los cuadros 4.1 y 4.2 se resumen los datos; en el apéndice III se describen los datos en bruto. Para más información sobre las muestras, véase la sección 1.4. La muestra C se incluyó para evaluar la toxicidad residual presente en la solución de limpieza después del proceso de descontaminación. Dado que la solución de limpieza es el único volumen de agua que entra en contacto con el H₂O₂ y que se diluye más de 70 veces con agua tratada antes del deslastre, los resultados de la muestra C se pueden considerar como la hipótesis más desfavorable.

Bacterias: En la evaluación de la toxicidad del agua de lastre tratada y de la solución de limpieza en la bacteria *Vibrio fischeri*, como resultado del tratamiento con el sistema "FineBallast MF", durante un periodo de 30 minutos, los valores NOEC y EC₅₀ basados en la inhibición de la luminiscencia al final del experimento fueron del 100 % y >100 %, tanto para el agua de mar como para el agua salobre.

Algas: En la evaluación de la toxicidad del agua de lastre tratada y de la solución de limpieza en la diatomea marina *Skeletonema costatum*, como resultado del tratamiento con el sistema "FineBallast MF", durante un periodo de 72 horas, los valores NOEC basados en la inhibición del crecimiento al final del experimento fueron del 50 % para las muestras de agua de mar tratada y no tratada, y del 100 % para el resto de muestras. Los valores EC₅₀ para todas las muestras fueron >100 % tanto para el agua de mar como para el agua salobre.

Rotíferos: En el estudio de la toxicidad del agua de lastre tratada y de la solución de limpieza en el rotífero marino *Brachionus plicatilis*, como resultado del tratamiento con el sistema "FineBallast MF", durante un periodo de 24 horas, los valores NOEC y LC₅₀ basados en los datos de mortalidad al final del experimento fueron del 100 % y >100 % sólo para agua de mar.

Antípodos: En la evaluación de la toxicidad del agua de lastre tratada y de la solución de limpieza en el anfípodo marino *Monocorophium acherusicum*, como resultado del tratamiento con el sistema "FineBallast MF", durante un periodo de 96 horas, los valores NOEC y LC₅₀ basados en los datos de mortalidad al final del experimento fueron del 100 % y >100 % tanto para el agua de mar como para el agua salobre.

Bivalvos: En la evaluación de la toxicidad del agua de lastre tratada y de la solución de limpieza en el bivalvo marino *Ruditapes philippinarum*, como resultado del tratamiento con el sistema "FineBallast MF", durante un periodo de 96 horas, los valores NOEC y LC₅₀ basados en los datos de mortalidad al final del experimento fueron del 100 % y >100 % sólo para el agua de mar.

Peces: En la evaluación de la toxicidad del agua de lastre tratada y de la solución de limpieza en el pez marino *Cyprinodon variegatus*, como resultado del tratamiento con el sistema "FineBallast MF", durante un periodo de 96 horas, los valores NOEC y LC₅₀ basados en los datos de mortalidad al final del experimento fueron del 100 % y >100 % tanto para el agua de mar como para el agua salobre.

Cuadro 4.1: Resultado de las pruebas de toxicidad aguda en diferentes organismos marinos expuestos al agua de lastre no tratada (A), al agua de lastre tratada (B) y a la solución de limpieza descontaminada (C), utilizando agua de mar (34 psu)

Taxón	Especie	Protocolo de la prueba	Punto final	Identificador de la muestra*	Resultados (NOEC, %)	Resultados (LC ₅₀ o EC ₅₀ , %)
Bacterias	<i>Vibrio fischeri</i>	ISO 11348-1	Inhibición de la luminiscencia (30 min)	A	100	>100
				B	100	>100
				C	100	>100
Algas	<i>Skeletonema costatum</i>	ASTM E1218-97a	Inhibición del crecimiento (72 h)	A	50	>100
				B	50	>100
				C	100	>100
Rotíferos	<i>Brachionus plicatilis</i>	ASTM E1440-91	Mortalidad (24 h)	A	100	>100
				B	100	>100
				C	100	>100
Anfípodos	<i>Monocorophium acherusicum</i>	EPA 1994	Mortalidad (96 h)	A	100	>100
				B	100	>100
				C	100	>100
Bivalvos	<i>Ruditapes philippinarum</i>	ASTM E2122-02	Mortalidad (96 h)	A	100	>100
				B	100	>100
				C	100	>100
Peces	<i>Cyprinodon variegatus</i>	USEPA 821/R02/014	Mortalidad (96 h)	A	100	>100
				B	100	>100
				C	100	>100

Cuadro 4.2: Resultados de las pruebas de toxicidad aguda en diferentes organismos marinos expuestos al agua de lastre no tratada (A), al agua de lastre tratada (B) y a la solución de limpieza descontaminada (C), utilizando agua salobre (21 psu)

Taxón	Especie	Protocolo de la prueba	Punto final	Identificador de la muestra*	Resultados (NOEC, %)	Resultados (LC ₅₀ o EC ₅₀ , %)
Bacterias	<i>Vibrio fischeri</i>	ISO 11348-1	Inhibición de la luminiscencia (30 min)	A	100	>100
				B	100	>100
				C	100	>100
Algas	<i>Skeletonema costatum</i>	ASTM E1218-97a	Inhibición del crecimiento (72 h)	A	100	>100
				B	100	>100
				C	100	>100
Anfípodos	<i>Monocorophium acherusicum</i>	EPA 1994	Mortalidad (96 h)	A	100	>100
				B	100	>100
				C	100	>100
Peces	<i>Cyprinodon variegatus</i>	USEPA 821/R02/014	Mortalidad (96 h)	A	100	>100
				B	100	>100
				C	100	>100

4.2 Toxicidad acuática crónica

No se observó una toxicidad aguda mucho más alta en las muestras de agua de lastre tratada (B) y de la solución de limpieza descontaminada (C) en comparación con las muestras de agua no tratada (A), utilizando agua de mar (34 psu). En el cuadro 4.3 se resumen los datos; en el apéndice III se describen los datos en bruto. Para más información sobre las muestras, véase la sección 1.4.

Algas: En la evaluación de la toxicidad crónica del agua de lastre tratada y de la solución de limpieza en la diatomea marina *Skeletonema costatum*, como resultado del tratamiento con el sistema "FineBallast MF", durante un periodo de 96 horas, los valores NOEC y EC₅₀ basados en la inhibición del crecimiento al final del experimento fueron del 100 % y >100 % para el agua de mar, respectivamente.

Rotíferos: En la evaluación de la toxicidad crónica del agua de lastre tratada y de la solución de limpieza en el rotífero marino *Brachionus plicatilis*, como resultado del tratamiento con el sistema "FineBallast MF", durante un periodo de 96 horas, los valores NOEC y EC₅₀ basados en el crecimiento de la población al final del experimento fueron del 100 % y >100 % para el agua de mar, respectivamente.

Peces: En la evaluación de la toxicidad crónica del agua de lastre tratada y de la solución de limpieza en el pez marino *Cyprinodon variegatus*, como resultado del tratamiento con el sistema "FineBallast MF", durante un periodo de 30 días, los valores basados en los datos de mortalidad al final del experimento fueron del 100 % y >100 % para el agua de mar, respectivamente.

Cuadro 4.3: Resultados de las pruebas de toxicidad crónica en diferentes organismos marinos expuestos al agua de lastre no tratada (A), al agua de lastre tratada (B) y a la solución de limpieza descontaminada (C), utilizando agua de mar (34 psu)

Taxón	Especie	Protocolo de la prueba	Punto final	Identificador de la muestra*	Resultados (NOEC, %)	Resultados (LC ₅₀ o EC ₅₀ , %)
Algas	<i>Skeletonema costatum</i>	ASTM E1218-97a	Inhibición del crecimiento (96 h)	A	100	>100
				B	100	>100
				C	100	>100
Rotíferos	<i>Brachionus plicatilis</i>	ASTM E1440-91	Crecimiento de la población (96 h)	A	100	>100
				B	100	>100
				C	100	>100
Peces	<i>Cyprinodon variegatus</i>	USEPA 821/R02/014	Mortalidad (30 días)	A	100	>100
				B	100	>100
				C	100	>100

4.3 Trastornos endocrinos

No hay pruebas de que el H₂O₂ y sus productos químicos oxidativos pertinentes produzcan trastornos endocrinos importantes en los organismos a niveles de concentración tan bajos como los detectados en las muestras de agua tratada mediante este sistema (véanse los cuadros 6.1, 6.2 y 6.3), ni a niveles superiores.

4.4 Toxicidad en los sedimentos

Se encontraron únicamente cantidades insignificantes de productos químicos residuales derivados del tratamiento, sin toxicidad importante, tal como se indica en los cuadros 4.1, 4.2 y 4.3, y en los apéndices II y III. Además, el H₂O₂ y la mayoría de los productos químicos pertinentes son sustancias altamente solubles y polares; no se prevé una absorción significativa por las partículas de los sedimentos. Los productos químicos residuales del tratamiento con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" no llegarán a los entornos bentónicos y no tendrán efectos nocivos en los organismos bentónicos, debido tanto al bajo nivel de productos químicos residuales como a la baja reactividad de los productos químicos a las partículas de sedimentos.

4.5 Biodisponibilidad/biomagnificación/bioconcentración

No se obtuvieron resultados experimentales relativos a la sustancia activa o a los posibles productos químicos pertinentes que se han definido en este documento que indicaran bioconcentración y/o biomagnificación en los organismos acuáticos. Dado que, como es bien sabido, el H₂O₂ y la mayor parte de los productos químicos oxidativos se degradan químicamente y se metabolizan biológicamente con rapidez, no es fácil que se produzca la bioconcentración y/o biomagnificación de estos productos químicos. A partir de los resultados de los análisis químicos y las pruebas de toxicidad de las muestras de agua de mar tratada mediante el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" y las muestras representativas de la hipótesis más desfavorable, comparadas con los datos relativos al agua no tratada, es imposible que exista biodisponibilidad en cantidades biológicamente importantes de productos químicos tóxicos para su bioconcentración en organismos acuáticos o biomagnificación adicional a través de la cadena alimentaria marina.

4.6 Efectos en la red alimentaria y las poblaciones

No se encontraron resultados que indicaran que la sustancia activa o los posibles productos químicos pertinentes definidos en el presente documento se transfiriesen a través de la red alimentaria, afectando negativamente de manera indirecta al nivel trófico superior de la biota marina. Los niveles de productos químicos residuales y la toxicidad son insignificantes, y la biomagnificación de los productos químicos residuales del tratamiento no era viable.

Por tanto, es imposible que se produzcan indirectamente efectos adversos importantes en la transferencia de productos químicos a través de la red alimentaria marina. Tampoco cabe esperar que el agua de lastre descargada pueda afectar negativamente a los niveles superiores del ecosistema, incluidas las poblaciones y las comunidades tanto en entornos de aguas salobres como de aguas marinas.

5 DATOS SOBRE LA TOXICIDAD EN LOS MAMÍFEROS (D9: 4.2.1.2)

El sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" no adopta ni emplea ninguna sustancia activa a la cual vayan a exponerse directamente organismos mamíferos o no mamíferos. El único producto químico utilizado en el sistema es el H₂O₂ (1,5 % o menos en agua de mar), que sólo se usa para la limpieza de los módulos de filtro y que posteriormente se cataliza por la acción del dióxido de manganeso. Las concentraciones finales de H₂O₂ y los oxidantes residuales totales en la solución de limpieza descontaminada en ningún caso fueron superiores a 1,0 mg/l (véase el apéndice II) y no se observó toxicidad acuática ni siquiera en la solución de limpieza descontaminada, que puede considerarse una muestra representativa de las "condiciones más desfavorables" del agua de mar tratada con el sistema de gestión del agua de lastre.

Las únicas personas que podrían estar expuestas a los gases de H_2O_2 son las que manejan el sistema durante los procedimientos necesarios; además, puede darse una exposición a H_2O_2 líquido en casos de negligencia o accidente. Sin embargo, hay muy pocas posibilidades de que una persona pueda estar expuesta a los productos químicos pertinentes, es decir, los subproductos oxidantes de la reacción de H_2O_2 con materias orgánicas presentes en el agua de mar.

5.1 Toxicidad aguda

5.1.1 Generalidades

En concentraciones elevadas (>10 %), el H_2O_2 es corrosivo para la piel, los ojos y las membranas mucosas; en concentraciones más bajas puede causar irritación. Se producen otros efectos por inhalación o ingestión, como embolismo gaseoso, irritación gástrica, distensión gástrica y vómitos, acumulación de líquido en los pulmones, pérdida del conocimiento y paro respiratorio. Los síntomas se agravan a medida que aumenta la concentración de H_2O_2 (SCCP, 2007).

Los efectos sistémicos del H_2O_2 se derivan de su interacción con la catalasa en los tejidos, liberando oxígeno y agua al descomponerse. Un mililitro de H_2O_2 al 3 % libera 10 ml de oxígeno. Cuando la cantidad de oxígeno emitido excede la solubilidad máxima de la sangre, se produce un embolismo venoso. También puede producirse una embolia de oxígeno intravascular. La ingestión de soluciones diluidas (3 % a 10 %) produce irritación gastrointestinal leve, distensión gástrica y vómitos, y, con poca frecuencia, erosión gastrointestinal o embolia. La ingestión de soluciones del 10 % al 20 % produce síntomas similares, pero los tejidos expuestos también pueden sufrir quemaduras. La ingestión de soluciones del 20 % al 40 % produce los síntomas descritos para los volúmenes más bajos, pero también puede provocar una pérdida repentina del conocimiento, seguida de paro respiratorio.

5.1.2 Exposición oral

Por lo general, si son ingeridas, las soluciones de H_2O_2 en concentraciones de hasta un 9 % no son tóxicas. Sin embargo, incluso una solución al 3 % es ligeramente irritante para los tejidos de la mucosa y puede causar vómitos y diarrea. La ingestión de soluciones industriales (concentración aproximada del 10 %) provoca toxicidad sistémica y se ha asociado con casos de muerte.

La ingestión de soluciones para uso doméstico (3 %) suele causar irritación leve de la mucosa y vómitos. Puede producirse una distensión gástrica a raíz de la liberación de oxígeno en el estómago, pero la rotura de órganos huecos es poco común cuando se ingieren las soluciones diluidas. La ingestión de soluciones concentradas (aproximadamente al 10 %) puede causar irritación extrema, inflamación y quemaduras en el tracto digestivo; la distensión o rotura de los órganos huecos es un riesgo importante. Los enemas por H_2O_2 han causado rotura del colon, gangrena intestinal con burbujas de gas y colitis ulcerosa aguda.

5.1.3 Exposición respiratoria

Los vapores o aerosoles de H_2O_2 pueden causar irritación de las vías respiratorias superiores, inflamación de la nariz, ronquera, dificultad para respirar y una sensación de ardor o tirantez en el pecho. La exposición a altas concentraciones puede dar lugar a una congestión grave de la mucosa de la tráquea y los bronquios y la acumulación retardada de líquido en los pulmones.

5.2 Efectos en la piel y en los ojos

El H_2O_2 se absorbe mal a través de la piel intacta. Se emplea de forma generalizada como medicamento desinfectante para la piel lesionada. Cuando se usa con fines de desinfección (en concentraciones del 3 % al 5 %), es ligeramente irritante para la piel y las membranas mucosas. En concentraciones del 10 %, presente en algunas soluciones blanqueantes del cabello, es muy irritante y puede ser corrosivo.

La exposición prolongada a soluciones concentradas, en forma de vapor o diluidas, puede causar irritación y decoloración temporal de la piel y el cabello. El contacto con soluciones concentradas puede causar quemaduras graves en la piel, con ampollas.

La exposición al vapor o al aerosol concentrado puede causar escozor y lagrimeo. Si entran en contacto con el ojo, las soluciones al 5 % o más pueden causar daños en su superficie (a veces con efectos retardados).

5.3 Toxicidad con dosis repetidas

Los datos obtenidos de estudios con animales son suficientes para caracterizar la toxicidad con dosis repetidas del H_2O_2 por vía oral. La disminución del aumento de peso corporal fue un hallazgo típico en estudios de alimentación forzada con ratas, a las que se aplicó un rango de dosis de 50 a 500 mg/kg de peso corporal/día. Por lo que respecta a otros parámetros examinados, no fue raro observar una disminución del recuento de eritrocitos, hematocritos, disminución de la concentración de proteínas plasmáticas y de la catalasa en plasma. Cuando fue administrado en el agua potable, el H_2O_2 al 50 % redujo constantemente el aumento de peso corporal en ratas y ratones (así como el consumo de agua); otros estudios con niveles de dosis más bajos mostraron el mismo efecto, incluso con concentraciones de 1 500 ppm en ratas y de 3 000 ppm en ratones (SCCP, 2007). Este último, un estudio de 90 días, realizado correctamente con una cepa de ratones con una deficiencia de catalasa, indicó que el NOAEL de H_2O_2 en el agua potable fue de 100 ppm, lo que implica una dosis diaria de 26 mg/kg de peso corporal de agua de lastre en el caso de los machos y 37 mg/kg de peso corporal de agua de lastre en el caso de las hembras. El valor LOAEL fue de 300 ppm, basado en la reducción, asociada a la dosis, del consumo de agua y alimentos entre las hembras, y en la observación de hiperplasia de la mucosa duodenal en un macho. En los niveles superiores de 1 000 ppm y 3 000 ppm, tanto en machos como en hembras, la hiperplasia fue un resultado frecuente, totalmente reversible en el periodo de recuperación. Con las dosis más elevadas (3 000 ppm) se redujeron las concentraciones totales de proteínas y globulina en el plasma.

La toxicidad de la exposición repetida al H_2O_2 por inhalación no está suficientemente descrita. Algunos estudios demostraron que con concentraciones en torno a 10 mg/m³ pueden producirse efectos locales en la piel, las vías respiratorias y los pulmones. En un estudio reciente de 28 días de duración sobre el rango de toxicidad por inhalación en ratas (SCCP, 2007), se encontró irritación de las vías respiratorias y necrosis asociada a la concentración e inflamación del epitelio en las regiones anteriores de la cavidad nasal a 14,6 mg/m³ y 33 mg/m³, pero no a 2,9 mg/m³ (el valor NOAEL aparente).

5.4 Toxicidad crónica

Es poco probable que el H_2O_2 cause toxicidad crónica, debido a que se descompone rápidamente en el organismo. Sin embargo, las exposiciones repetidas al vapor de H_2O_2 pueden causar irritación crónica de las vías respiratorias y colapso pulmonar parcial o completo. El contacto repetido con el vapor o la solución puede dar lugar a la decoloración de la piel y el cabello.

5.5 Toxicidad para el desarrollo y la reproducción

El H₂O₂ no está incluido en *Reproductive and Developmental Toxicants* (Tóxicos reproductivos y del desarrollo), un informe de 1991, publicado por la General Accounting Office (GAO) de los Estados Unidos, que incluye 30 productos químicos que son motivo de preocupación por sus consecuencias ampliamente reconocidas sobre la reproducción y el desarrollo. No se han encontrado informes sobre los efectos del H₂O₂ en el desarrollo o la reproducción en seres humanos.

5.6 Efectos carcinógenos

El Centro Internacional de Investigaciones sobre el cáncer (CIIC) ha determinado que el H₂O₂ no es clasificable por sus efectos carcinógenos en seres humanos (CIIC, 1999).

5.7 Mutagenicidad/genotoxicidad

El H₂O₂ actuó como agente mutágeno y genotóxico en diversos sistemas de pruebas *in vitro*. Sin embargo, con respecto a la genotoxicidad *in vivo* de esta sustancia, en varios estudios en los que se utilizaron metodologías modernas se obtuvo un resultado negativo. Los estudios disponibles no respaldan la hipótesis de una genotoxicidad/mutagenicidad importante asociada al H₂O₂ *in vivo*, debido a que esta sustancia se degrada muy rápidamente cuando penetra en el interior de un organismo, independientemente de cuál sea la vía de exposición (oral, cutánea y respiratoria). De acuerdo con los principios seguidos en la Unión Europea, el H₂O₂ no está clasificado como mutágeno.

5.8 Toxicocinética

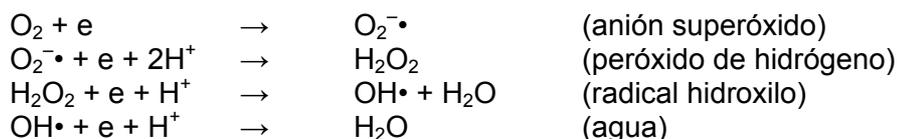
Las membranas biológicas son muy permeables al H₂O₂; las constantes de permeabilidad, de 0,2 cm/min para las membranas peroxisomales y de 0,04 cm/min para las membranas de plasma de eritrocitos pueden compararse con las del agua en diversas membranas, con un rango entre 0,02 y 0,42 cm/min (Branco *et al.*, 2004). Así pues, se prevé que el H₂O₂ será captado fácilmente por las células que forman las superficies de absorción; no obstante, esta sustancia se metaboliza de manera efectiva, y no se sabe hasta qué punto la sustancia inalterada puede penetrar en el torrente sanguíneo. Por otra parte, en la sangre, los glóbulos rojos tienen una inmensa capacidad metabólica para degradar el H₂O₂.

Los estudios con animales demuestran que la administración de altas concentraciones de H₂O₂ por diversas vías, que da lugar a altas tasas de absorción, provoca la formación de burbujas de oxígeno en los vasos sanguíneos. Indirectamente, esto indica que el H₂O₂ ha sido absorbido en el sistema orgánico y que se ha degradado con rapidez por la acción de las enzimas metabolizantes presentes en la sangre circulante.

Existen dos enzimas principales que metabolizan el H₂O₂, la catalasa y la peroxidasa glutatiónica, que controlan la concentración de H₂O₂ a diferentes niveles y en distintas partes de la célula. En la sangre, los glóbulos rojos eliminan con eficacia el H₂O₂ intracelular y extracelular.

En el metabolismo celular aeróbico, la reducción completa de una molécula de oxígeno en agua requiere cuatro electrones, y en un proceso secuencial univalente se forman productos intermedios: el radical anión superóxido (O₂⁻), el H₂O₂ y el radical hidroxilo (OH•) (Fridovich 1978; 1983). En presencia de iones metálicos reducidos (Fe²⁺; Cu⁺) pueden generarse radicales hidroxilo a partir del H₂O₂, a través de la reacción de Fenton. A continuación se muestran las reacciones químicas implicadas en la generación de especies de oxígeno reactivo.

El oxígeno molecular se reduce a agua en cuatro etapas de reducción de un electrón:



El H_2O_2 es un metabolito habitual en la célula aeróbica, pero hay dudas sobre sus niveles reales en medios biológicos, debido a las dificultades que plantea el análisis. Al parecer, su nivel en estado estable depende del equilibrio entre su generación y su degradación. El H_2O_2 atraviesa fácilmente las membranas biológicas (su permeabilidad constante se corresponde con la del agua) y, dado que reacciona lentamente con sustratos orgánicos, puede difundirse a distancias considerables dentro de la célula. Existen dos enzimas principales que metabolizan el H_2O_2 , la catalasa y la peroxidasa glutatiónica, que controlan la concentración de H_2O_2 a diferentes niveles y en distintas partes de la célula, así como en la sangre. A bajas concentraciones fisiológicas, el H_2O_2 se descompone parcialmente por la acción de la peroxidasa GSH, mientras que la contribución de la catalasa se incrementa al aumentar la concentración de H_2O_2 . Los glóbulos rojos eliminan eficazmente el H_2O_2 de la sangre, debido a la elevada actividad de la catalasa, mientras que la actividad de esta sustancia en suero es baja.

La absorción sistémica del H_2O_2 está limitada por su rápida degradación enzimática en las células mucosas que recubren el tracto gastrointestinal y respiratorio y, en cierta medida, también en la piel. El daño en los tejidos, por ejemplo, por el contacto con concentraciones de H_2O_2 altamente irritantes, puede conducir a su absorción en el torrente sanguíneo. En la sangre, el H_2O_2 se degrada muy rápidamente, produciendo oxígeno y agua. La rápida degradación limita la disponibilidad sistémica de H_2O_2 . Por tanto, es poco probable que los órganos se vean afectados más allá del punto donde se produce el primer contacto.

6 DATOS SOBRE EL DESTINO EN EL MEDIO AMBIENTE Y LOS EFECTOS AMBIENTALES EN CONDICIONES AERÓBICAS Y ANAERÓBICAS (D9: 4.2.1.3)

6.1 Modos de degradación (biótica; abiótica)

Se prevé que todos los compuestos químicos formados por el tratamiento del agua con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" sigan procesos naturales de descomposición, por vías naturales bióticas o abióticas.

El H_2O_2 es una sustancia muy reactiva en presencia de otras sustancias, elementos, radiación, materiales o células. Los procesos de degradación biótica y abiótica son vías importantes de eliminación del H_2O_2 en el medio ambiente.

La degradación biológica del H_2O_2 es un proceso en el que intervienen enzimas. La degradación abiótica del H_2O_2 se debe a la reacción consigo mismo (desproporcionalización), a la reacción con metales de transición, compuestos orgánicos capaces de reaccionar con el H_2O_2 y a la reacción con radicales libres, calor o luz.

En condiciones normales, el H_2O_2 tiene una vida corta en el medio ambiente. Se produce una rápida degradación debido a las numerosas vías de degradación alternativas y competitivas. Sin embargo, al igual que la mayoría de sustancias, en circunstancias especiales en las que los procesos de degradación están inactivos, el H_2O_2 puede ser una sustancia sumamente persistente en el medio ambiente.

No se ha descrito una tasa fiable de degradación del cloroformo en agua en condiciones aeróbicas. Sin embargo, en condiciones anaeróbicas, se sabe que el cloroformo se biodegrada con facilidad en el agua y los sedimentos.

6.1.1 Degradación biótica

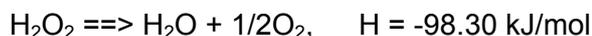
El H₂O₂ es biodegradable. Las bacterias aeróbicas producen enzimas de catalasa que convierten el H₂O₂ en agua y oxígeno. La catalasa está presente en la mayoría de las bacterias aeróbicas, por lo que la degradación biológica se inicia fácilmente cuando el H₂O₂ entra en contacto con material microbiano (sin una fase de retardo notable).

Por ello, el periodo biológico oscila entre minutos y horas en aguas residuales municipales (> 10⁶ células/ml), y es de tan sólo unos segundos en fangos (10⁸-10¹⁰ células/ml). En aguas naturales (≤ 10³ células/ml), el periodo biológico de degradación oscila entre horas y unos días. Por lo general, se supone que la cinética de degradación es de primer orden con respecto al H₂O₂ a bajas concentraciones y no de primer orden a concentraciones más altas (cientos de microgramos o más en aguas superficiales), lo que da lugar a periodos biológicos más prolongados a medida que aumentan las concentraciones iniciales (Spain *et al.*, 1989; Moffet y Zafiriou, 1990; Wong y Zhang, 2008).

Se supone que la tasa de degradación del cloroformo en el agua superficial es de 0 día⁻¹, debido a la falta de datos fiables, y que la tasa de degradación en sedimentos es de 0,046 día⁻¹, lo que significa que el periodo biológico en sedimentos es de 15 días (UE, 2007).

6.1.2 Degradación abiótica

El H₂O₂ se descompone en agua y oxígeno, a tasas que dependen del contacto con materiales catalíticos (metales, carbón activado, enzimas) y otros factores (calor, luz solar) (Moffett y Zafiriou, 1990; Goor *et al.* 2005).



Esta reacción es altamente exotérmica y tiene lugar en presencia de pequeñas cantidades de materiales catalizadores, incluso en soluciones acuosas. En ausencia de un catalizador, sólo se produce a temperatura elevada en la fase gaseosa (Goor *et al.*, 2005).

Hay muchos materiales y sustancias que tienen una acción catalítica sobre la degradación del H₂O₂. La mayoría de los metales de transición y los metales pesados pueden inducir la descomposición del H₂O₂. El rango de la tasa de descomposición es amplio, debido a las variaciones de eficacia de los catalizadores. A excepción del flúor, los halógenos también catalizan la descomposición del H₂O₂, mediante un mecanismo cíclico de oxidación-reducción (Wong y Zhang, 2008).

A pesar de la falta de información, el cloroformo no puede degradarse de manera sustancial mediante ningún proceso abiótico.

6.2 Bioacumulación, coeficiente de repartición, coeficiente de repartición del logaritmo octanol/agua

El H₂O₂ es una sustancia reactiva y polar, de corta existencia, por lo que no cabe esperar una bioacumulación importante. No existen resultados experimentales disponibles sobre bioacumulación y el coeficiente del logaritmo octanol/agua. La estimación de aproximadamente -1,5 para el log P_{OW} (coeficiente del logaritmo octanol/agua), basada en análisis de estructura, indica un potencial insignificante de bioacumulación en organismos

acuáticos. Por tanto, el BCF (factor de bioconcentración) estimado para los peces está entre 1,4 y 3,3, lo que significa que la concentración en los peces es sólo 1,4 a 3,3 veces mayor que en el agua (UE, 2003).

El cloroformo no se bioacumula fácilmente en los medios acuáticos. Hay algunos datos experimentales sobre la bioacumulación de cloroformo en peces de agua dulce. El BCF del cloroformo para las especies de peces analizadas osciló entre 1,4 y 13, durante un periodo de exposición de 1 o 42 días, con un sistema de exposición de flujo continuo (CE, 2007).

6.3 Persistencia e identificación de los metabolitos principales en los medios pertinentes (agua de lastre, agua de mar y agua dulce)

El H₂O₂ es una sustancia muy reactiva en presencia de otras sustancias, elementos, radiación, materiales o células. Los procesos de degradación biótica y abiótica son vías importantes de eliminación del H₂O₂ del medio ambiente.

Al margen de que el H₂O₂ no se volatiliza fácilmente, el cloroformo puede volatilizarse con rapidez en el interior del compartimento de aire. Por tanto, la volatilización será la vía más importante para su eliminación del medio acuático.

6.4 Reacción con la materia orgánica

Para identificar los productos peligrosos para el medio ambiente generados por la reacción de los radicales con la materia orgánica, se analizaron algunos compuestos de bromo y cloro en tres clases de agua de prueba (agua no tratada, agua tratada y solución de limpieza descontaminada) (cuadros 6.1, 6.2 y 6.3).

No se detectó de manera significativa ningún posible producto químico pertinente. Sólo se detectó un producto químico, el tiosulfato, en una muestra de agua de mar tratada, preparada para la prueba de toxicidad crónica del sistema de gestión del agua de lastre (cuadro 6.3). Sin embargo, ese producto no fue detectado en las otras tres muestras de la prueba de toxicidad crónica, ni en ninguna de las muestras de las pruebas de toxicidad aguda con agua de mar y agua salobre.

No se detectó ningún otro producto químico en las muestras de agua tratada, tanto en las de las pruebas de toxicidad aguda como en las de la toxicidad crónica.

Se detectó cloroformo en una muestra de agua no tratada (0,19 ppb) y dos muestras de la solución de limpieza (0,09 y 0,20 ppb). En otras muestras, la concentración de cloroformo era inferior a 0,01 ppb.

Se detectó bromoformo y 1,2,3-tricloropropano, con concentraciones de 0,03 y 0,42 respectivamente, únicamente en una muestra de agua de mar no tratada, preparada para la prueba de toxicidad aguda y crónica. Estos productos químicos no se encontraron en el resto de muestras de agua no tratada, ni en las de agua tratada y las de solución de limpieza. Su presencia en muestras de agua no tratada no estaba relacionada con el tratamiento con el sistema de gestión del agua de lastre. Probablemente se produjeron de manera natural, y fueron eliminados durante el proceso de filtración y/o de limpieza del sistema de gestión del agua de lastre.

Como se describe anteriormente, sólo se detectaron dos productos químicos pertinentes en una muestra de agua de mar tratada y en dos muestras de la solución de limpieza. Además, las concentraciones detectadas fueron similares a los niveles naturales, por lo que no supondrían ningún riesgo considerable para los organismos acuáticos y los seres humanos.

En vista de los resultados químicos y toxicológicos, hay pruebas suficientes de que, después del tratamiento del agua de lastre con el sistema "FineBallast MF", no se producirá ningún subproducto nocivo que permanezca en el agua durante al menos 5 días.

En el apéndice II se describen con detalle los métodos utilizados y los resultados.

Cuadro 6.1: Concentración de H₂O₂ y posibles productos químicos pertinentes en muestras de agua no tratada (A), de agua tratada con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" (B) y de la solución de limpieza descontaminada (C), preparadas junto con las muestras para las pruebas de toxicidad aguda utilizando agua de mar (34 psu)

Producto químico	Unidad	Agua no tratada (A) [Identificación de la muestra: A-A]	Agua tratada (B) [Identificación de la muestra: A-B]	Solución de limpieza descontaminada (C) [Identificación de la muestra: A-C]
Oxidante residual total	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1
Cloro libre	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03
Tiosulfato	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Bromato	µg/l	<0,39	<0,39	<0,39
Bromoformo	µg/l	0,03	<0,03	<0,03
Cloroformo	µg/l	<0,01	<0,01	0,09
Dibromoclorometano	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Diclorobromometano	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Ácido monobromoacético	µg/l	<0,103	<0,103	<0,103
Ácido dibromoacético	µg/l	<0,049	<0,049	<0,049
Ácido tribromoacético	µg/l	<0,322	<0,322	<0,322
Ácido monocloroacético	µg/l	<0,160	<0,160	<0,160
Ácido dicloroacético	µg/l	<0,130	<0,130	<0,130
Ácido tricloroacético	µg/l	<0,039	<0,039	<0,039
Ácido bromocloroacético	µg/l	<0,089	<0,089	<0,089
Dibromoacetoniitrilo	µg/l	<0,001	<0,001	<0,001
1,2,3-tricloropropano	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05

Cuadro 6.2: Concentración de H₂O₂ y posibles productos químicos pertinentes en muestras de agua no tratada (A), de agua tratada con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" (B) y de la solución de limpieza descontaminada (C), preparadas junto con las muestras para las pruebas de toxicidad aguda utilizando agua salobre (21 psu)

Producto químico	Unidad	Agua no tratada (A) [Identificación de la muestra: E-A]	Agua tratada (B) [Identificación de la muestra: E-B]	Solución de limpieza descontaminada (C) [Identificación de la muestra: E-C]
Oxidante residual total	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1
Cloro libre	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03
Tiosulfato	mg/l	<0,2	<0,2	<0,2
Bromato	µg/l	<0,39	<0,39	<0,39
Bromoformo	µg/l	<0,03	<0,03	<0,03
Cloroformo	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Dibromoclorometano	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Diclorobromometano	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Ácido monobromoacético	µg/l	<0,103	<0,103	<0,103
Ácido dibromoacético	µg/l	<0,049	<0,049	<0,049
Ácido tribromoacético	µg/l	<0,332	<0,332	<0,332
Ácido monocloroacético	µg/l	<0,160	<0,160	<0,160
Ácido dicloroacético	µg/l	<0,130	<0,130	<0,130
Ácido tricloroacético	µg/l	<0,039	<0,039	<0,039
Ácido bromocloroacético	µg/l	<0,089	<0,089	<0,089
Dibromoacetoniitrilo	µg/l	<0,001	<0,001	<0,001
1,2,3-tricloropropano	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05

Cuadro 6.3: Concentración de H₂O₂ y posibles productos químicos pertinentes en muestras de agua sin tratar (A), de agua tratada con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" (B) y de la solución de limpieza descontaminada (C), preparadas junto con las muestras para las pruebas de toxicidad crónica utilizando agua de mar (34 psu)

Producto químico	Tipo de muestra	Agua no tratada (A)				Agua tratada (B)				Solución de limpieza descontaminada (C)			
	Tiempo	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4
	Identificación de la muestra	C1-A	C2-A	C3-A	C4-A	C1-B	C2-B	C3-B	C4-B	C1-C	C2-C	C3-C	C4-C
Oxidante residual total	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cloro libre	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Tiosulfato	mg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1.8	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Bromato	µg/l	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39
Bromoformo	µg/l	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Cloroformo	µg/l	<0,01	0,19	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,20	<0,01	<0,01	<0,01
Dibromoclorometano	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Diclorobromometano	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ácido monobromoacético	µg/l	<0,103	<0,103	<0,103	<0,103	<0,103	<0,103	<0,103	<0,103	<0,103	<0,103	<0,103	<0,103
Ácido dibromoacético	µg/l	<0,049	<0,049	<0,049	<0,049	<0,049	<0,049	<0,049	<0,049	<0,049	<0,049	<0,049	<0,049
Ácido tribromoacético	µg/l	<0,332	<0,332	<0,332	<0,332	<0,332	<0,332	<0,332	<0,332	<0,332	<0,332	<0,332	<0,332
Ácido monocloroacético	µg/l	<0,160	<0,160	<0,160	<0,160	<0,160	<0,160	<0,160	<0,160	<0,160	<0,160	<0,160	<0,160
Ácido dicloroacético	µg/l	<0,130	<0,130	<0,130	<0,130	0,13	<0,130	<0,130	<0,130	<0,130	<0,130	<0,130	<0,130
Ácido tricloroacético	µg/l	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039
Ácido bromocloroacético	µg/l	<0,089	<0,089	<0,089	<0,089	<0,089	<0,089	<0,089	<0,089	<0,089	<0,089	<0,089	<0,089
Dibromoacetnitrilo	µg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
1,2,3-tricloropropano	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	0,42	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

6.5 Posibles efectos físicos en la flora y la fauna y los hábitats bentónicos

No hay ninguna posibilidad lógica de que el tratamiento pueda afectar físicamente a la fauna o a los hábitats bentónicos. El tratamiento no parece afectar a las propiedades físicas del agua de mar y su entorno durante la operación. Los datos químicos y de toxicidad mostraron que el tratamiento no tenía ningún efecto tóxico residual importante en los organismos acuáticos, incluidas dos especies bentónicas (bivalvos y anfípodos), que constituyen una importante fuente dietética para la vida silvestre.

6.6 Posibles residuos en los alimentos marinos

El H₂O₂ y sus posibles productos químicos pertinentes no se bioacumulan fácilmente en los organismos acuáticos y no se biomagnifican con facilidad a través de la cadena alimentaria marina. Por tanto, no parece que el tratamiento produzca ningún residuo potencial en los alimentos marinos.

6.7 Efectos interactivos conocidos

No hay pruebas de efectos interactivos conocidos o esperados.

7 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS SUSTANCIAS ACTIVAS, PREPARADOS Y AGUA DE LASTRE TRATADA, CUANDO PROCEDA (D9: 4.2.1.4)

7.1 Propiedades físicas y químicas de la sustancia activa

El sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" sólo utiliza una sustancia activa, el H₂O₂, para la limpieza del módulo de filtro. La mayor parte del H₂O₂ se cataliza antes del lastrado, por lo que sólo puede quedar una cantidad limitada de los productos químicos pertinentes derivados del H₂O₂.

El H₂O₂ es un líquido incoloro transparente que suele manipularse en una solución acuosa. El H₂O₂ no es inflamable. Hay riesgo de incendio derivado de la reacción química de esta sustancia con materiales inflamables. Sin embargo, el H₂O₂ es un potente oxidante, especialmente en su estado concentrado, y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, generando riesgo de incendio y explosión.

A continuación se resumen las propiedades fisicoquímicas y de identificación de la sustancia activa (véanse los cuadros 7.1 y 7.2).

Nº CAS: 7722-84-1
Nº EINECS: 231-765-0
Nombre UIQPA: peróxido de hidrógeno
Sinónimos: dióxido de dihidrógeno, dióxido de hidrógeno
Peso molecular: 34,02 g/mol
Fórmula molecular: H ₂ O ₂
Fórmula estructural: H-O-O-H

Cuadro 7.1: Propiedades físicas y químicas del H₂O₂ puro (CE, 2003)

Propiedad	Valor
Punto de fusión	-0,4 o -0,43 °C
Punto de ebullición	de 150 a 152°C descomposición
Densidad	1,4425 g/cm ³ (20 °C)
Viscosidad	1,249 (20 °C)
Presión de vapor	3 hPa (25 °C)
Solubilidad en el agua	Miscible en todas las proporciones
pK _a	11,62 (25 °C)
Constante de la ley de Henry	7,5·10 ⁻⁴ Pa m ³ /mol (20 °C) medido

Las propiedades fisicoquímicas pueden variar en función de la pureza del H₂O₂.

Cuadro 7.2: Propiedades físicas y químicas de la mezcla de H₂O₂ y agua (EC, 2003)

% H ₂ O ₂	35 % w/w	50 % w/w	70 % w/w	90 % w/w
Punto de fusión	-33 °C	-52 °C	-40 °C	-11 °C
Punto de ebullición	108 °C	114 °C	125 °C	141 °C
Densidad (25°C)	1,1282	1,1914	1,2839	1,3867
Presión del vapor (parcial)	0,05 kPa (30 °C)	0,11 kPa (30 °C)	0,17 kPa (30 °C)	0,29 kPa (30 °C)
Presión del vapor (total)	–	24 hPa (30 °C)	14,7 hPa (30 °C)	6,7 hPa (30 °C)
Concentración de vapor saturado a 25°C (mg/m ³)	–	787	1 685	3 049
Tensión en superficie a 20 °C (nM/m)	74,6	75,7	77,3	79,2
Viscosidad (1 a 10 ⁻³ kg/ms)	1,11	1,17	1,24	1,26

La presión parcial del vapor de la mezcla de H₂O₂ y agua disminuye considerablemente al disminuir la concentración de H₂O₂ en la solución, de 3 hPa (100 %) a 0,48 hPa (35 %). Por tanto, la concentración de vapor saturado también disminuye al reducirse la concentración de H₂O₂ (cuadros 7.1 y 7.2).

La presión parcial del vapor es muy importante para estimar la concentración en el aire de productos químicos (por ejemplo, H₂O₂), que pueden vaporizarse en una matriz de agua. La figura 7.1 muestra que la presión parcial aumenta al aumentar la concentración de H₂O₂ y la temperatura. A la temperatura ambiente (~20 °C), no hay datos para la solución de H₂O₂ al 1,5 % (concentración representativa de la unidad CIP durante el proceso de limpieza), pero la presión parcial del vapor de la solución de limpieza será con certeza inferior a 10 Pa, que es el valor de la solución de H₂O₂ al 5 % a 50 °C (flecha en la figura 7.1).

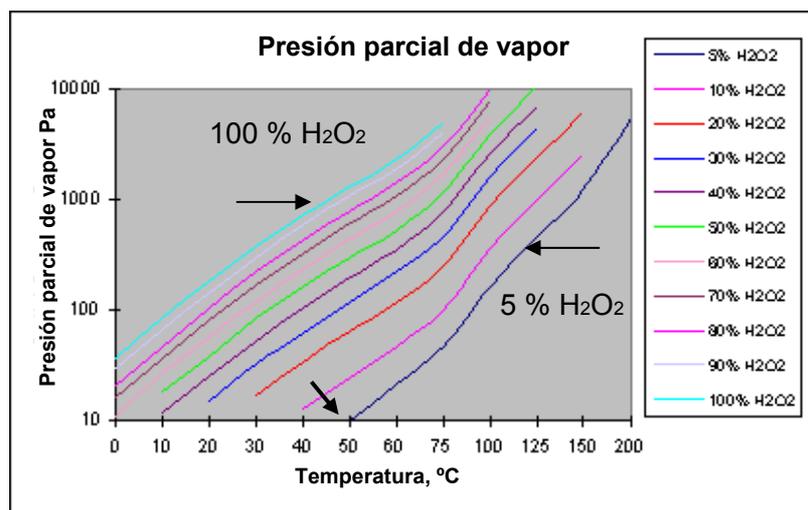


Figura 7.1: Variación de la presión parcial del vapor (Pa) de la mezcla de H₂O₂ y agua en función de la concentración de H₂O₂ y la temperatura (°C). (Extraído del sitio web: <http://www.h2o2.com/intro/properties/physical.html#13>)

7.2 Efectos corrosivos

Se realizó una prueba de corrosión con el agua de lastre tratada con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" durante 30 días. Los resultados de la prueba no reflejaron cambios importantes en cuanto a la corrosividad del agua de mar tratada en comparación con el agua de mar natural (véase el cuadro 7.3 y el apéndice IV).

Cuadro 7.3: Resultados de la prueba de corrosividad para el agua de lastre tratada con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF"

Elemento sometido a prueba	Muestra	Calificación (media \pm DE)	Métodos
Clasificación de las áreas sin trazados	A	10 \pm 0	ASTM D 1645-08
	B	10 \pm 0	
	C	10 \pm 0	
Clasificación de los fallos de trazado	A	9 \pm 1,7	
	B	9 \pm 1,7	
	C	10 \pm 0	

8 MÉTODOS ANALÍTICOS EN CONCENTRACIONES QUE AFECTEN AL MEDIO AMBIENTE (D9: 4.2.1.5)

Los análisis se han llevado a cabo siguiendo métodos normalizados y las pruebas de toxicidad se han realizado bajo la supervisión de KORDI. El laboratorio de pruebas, KTR, posee la acreditación KOLAS para realizar los análisis químicos de las muestras del medio ambiente, incluidos los análisis de COD y COP (apéndice II). Aunque el laboratorio de NeoEnBiz Co. LTD no posee una acreditación específica para las pruebas de toxicología, su personal posee una sólida experiencia en investigaciones toxicológicas, y todas las pruebas se realizaron según las buenas prácticas de laboratorio. En cada uno de los informes de prueba (apéndice III) figuran datos sobre la garantía de calidad.

En el apéndice I figura un extracto del plan de garantía de calidad de proyecto para todas las pruebas.

El plan de gestión de la calidad define la estructura de la gestión del control de la calidad y las políticas de la organización responsable de las pruebas (incluidos los subcontratistas y los laboratorios independientes).

El plan de garantía de calidad de proyecto es un documento técnico específico de cada proyecto en el que se da cuenta de los detalles del sistema que se someterá a prueba, de las instalaciones donde se llevarán a cabo las pruebas y otras condiciones que afecten a la configuración y realización de los experimentos prescritos.

Todos los análisis de la sustancia activa y los productos químicos pertinentes, incluidos los subproductos, se llevaron a cabo de conformidad con procedimientos de funcionamiento normalizados y con el manual de calidad de KTR (véase el cuadro 8.1). La garantía y control de calidad se realizaron sobre la base de un plan de estudio independiente, como se indica en el plan de garantía de calidad de proyecto.

Cuadro 8.1: Lista de métodos analíticos para la sustancia activa y los productos químicos pertinentes

Producto químico	Nº CAS	Fórmula molecular	Método analítico
Oxidante residual total	-	-	US EPA 303.3; 1978
Cloro libre	-	-	ISO 7393-1; 1985 (E)
Tiosulfato	-	S ₂ O ₃	ISO 10636; 1994 (modificada)
Bromato	15541-45-4	BrO ₃	ISO 15061; 2001
Bromoformo	75-25-2	CHBr ₃	US EPA 524.2; 1995
Cloroformo	67-66-3	CHCl ₃	US EPA 524.2; 1995
Dibromoclorometano	124-48-1	CHBr ₂ Cl	US EPA 524.2; 1995
Diclorobromometano	75-27-4	CHBrCl ₂	US EPA 524.2; 1995
Ácido monobromoacético	79-08-3	C ₂ H ₃ BrO ₂	US EPA 552.2; 1995
Ácido dibromoacético	631-64-1	C ₂ H ₂ Br ₂ O ₂	US EPA 552.2; 1995
Ácido tribromoacético	75-96-7	C ₂ HBr ₃ O ₂	US EPA 552.2; 1995
Ácido monocloroacético	79-11-8	C ₂ H ₃ ClO ₂	US EPA 552.2; 1995
Ácido dicloroacético	79-43-6	C ₂ H ₂ Cl ₂ O ₂	US EPA 552.2; 1995
Ácido tricloroacético	76-03-9	C ₂ HCl ₃ O ₂	US EPA 552.2; 1995
Ácido bromocloroacético	5589-96-8	C ₂ H ₂ BrClO ₂	US EPA 552.2; 1995
Dibromoacetnitrilo	3252-43-5	C ₂ HBr ₂ N	US EPA 551.1; 1995
1,2,3-tricloropropano	96-18-4	C ₃ H ₅ Cl ₃	US EPA 524.2; 1995

9 CARACTERIZACIÓN DE LOS RIESGOS

9.1 Análisis de la persistencia, bioacumulación y toxicidad

A continuación se muestran los resultados de las evaluaciones sobre las propiedades intrínsecas de la sustancia activa (H₂O₂) y los productos químicos pertinentes detectados (cloroformo), tales como la persistencia, la bioacumulación y la toxicidad.

Persistencia: El periodo biológico del H₂O₂ (100 %) en muestras de agua de mar varió de 50 a 70 horas. No se disponía de datos sobre el periodo biológico del cloroformo en agua de mar, pero en agua dulce los datos oscilaron entre 1,5 y 10 días. El criterio normalizado de persistencia descrito en el Procedimiento (D9) es que el periodo biológico sea superior a 60 días. Ambos productos químicos se eliminan con relativa rapidez y no suelen ser persistentes en entornos acuáticos.

Bioacumulación: En peces, los mayores valores del factor de bioconcentración del H₂O₂ (100 %) y el cloroformo son de 3,3 y 13, respectivamente. El valor estimado de log P_{ow} del H₂O₂ es -1,5 y el del cloroformo es de 2,0. El criterio para la bioacumulación es que el factor de bioconcentración sea mayor de 2000, o log P_{ow} > 3,0. Estos productos químicos no se bioacumulan ni producen bioconcentración, debido a que ambos tienen un valor bajo de P_{ow}. Además, el H₂O₂ se degrada con rapidez y el cloroformo se volatiliza rápidamente en el aire desde el agua superficial.

Toxicidad: En la bibliografía no hay muchos resultados de la estimación del valor NOEC para el H₂O₂ en los organismos marinos, pero la NOEC más baja para los organismos de agua dulce fue de 0,1 mg/l, que no entra en el rango del criterio de toxicidad para los valores NOEC (<0,01 mg/l). La NOEC más baja para el cloroformo en los organismos de agua dulce fue de 1,4 mg/l, que es incluso superior al del H₂O₂.

El análisis de la persistencia, la bioacumulación y la toxicidad (PBT) de la sustancia activa y los productos químicos pertinentes detectados en el agua tratada con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" mostró que estas sustancias no se incluyen entre los productos químicos clasificados como sustancias PBT.

Los resultados de los análisis químicos y ecotoxicológicos también indican que no hay efectos tóxicos residuales importantes en el agua tratada, ni siquiera en el agua en las condiciones más desfavorables tras cinco días de almacenamiento.

9.2 Prueba de toxicidad del agua de lastre tratada

En los resultados de las pruebas de ecotoxicidad aguda y crónica con agua de mar y agua salobre tratadas con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF", que incluyeron varias especies (una bacteria, un alga, diversos invertebrados y un pez), no se encontraron indicios de toxicidad aguda o crónica en ninguno de los organismos en ninguna de las concentraciones de los efluentes, en comparación con la muestra de control y la de agua no tratada. Ni siquiera el efluente a plena potencia (100 %) reveló efectos perjudiciales importantes sobre ninguna de las especies de prueba, tanto en la prueba de toxicidad aguda como en la de toxicidad crónica. En consecuencia, cabe concluir que el efluente no es tóxico para los organismos acuáticos ni para el medio marino en general (apéndice III).

No fue posible medir la NOEC real del agua de mar y el agua salobre tratadas con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF"; la NOEC determinada por métodos estadísticos fue del 100 % (véase el apéndice III).

La solución de limpieza es el único volumen de agua que contiene sustancias activas, en una concentración de hasta un 1,5 %, durante la fase de limpieza, antes de su descontaminación mediante catálisis. Para evaluar la hipótesis más desfavorable, las muestras de la solución de limpieza descontaminada (C) también fueron incluidas en todas las pruebas químicas y de toxicidad.

A pesar de que se detectó TRO y cloro libre en la solución de limpieza descontaminada, con una concentración de H₂O₂ del 10 % —una concentración entre 6,7 y 10 veces superior a la que se utiliza en el funcionamiento normal del sistema (1,0 % al 1,5 % de H₂O₂)—, las concentraciones han disminuido con el paso del tiempo. Dos días después, el valor de concentración de los TRO se redujo a 0,1 mg/l y el del cloro libre a 0,05 mg/l. No se detectó ningún otro producto químico pertinente. Por tanto, la presencia de productos químicos y toxicidad residuales es insignificante, incluso en la solución de limpieza después de cinco días de almacenamiento (véase el apéndice VIII).

Dado que los radicales libres producidos a partir de H₂O₂ tienen una existencia relativamente corta, después un periodo de cinco días de degradación no se esperan efectos tóxicos importantes para los organismos acuáticos. No parece ser necesario ampliar el tiempo de retención del agua para poder observar otros efectos adversos en la descarga.

9.3 Análisis de los riesgos para organismos acuáticos

Los resultados de las pruebas no indicaron niveles mensurables de sustancias potencialmente tóxicas, ni efectos de toxicidad aguda o crónica importantes sobre los organismos acuáticos en el efluente a plena potencia y en las muestras diluidas. Por tanto, no se ha identificado ningún riesgo aparente para el medio ambiente.

Las pruebas de ecotoxicidad aguda y crónica con agua de mar y agua salobre tratadas con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" no revelaron ningún efecto sobre ninguno de los organismos sometidos a prueba (apéndice III).

Las concentraciones de H₂O₂ y cloroformo fueron inferiores a 0,1 mg/l y 0,2 mg/l, respectivamente, en todas las muestras de agua tratada para su deslastrado en el medio ambiente, y también en las de la solución de limpieza descontaminada. Aproximadamente, estas concentraciones son 10 y 1000 veces menores (respectivamente) a los valores de los niveles tóxicos señalados para los organismos marinos (véase el apéndice VI, donde figuran los datos de ecotoxicidad obtenidos de la bibliografía).

A pesar de la falta de resultados fiables sobre toxicidad, el nivel de concentración tóxica de tiosulfato oscila entre decenas y miles de ppm en el agua. La concentración detectada de ión tiosulfato en una muestra de agua tratada (1,8 mg/l) fue muy inferior a los niveles tóxicos señalados, y puede encuadrarse en el rango de la concentración natural en el agua de mar (0,12 a 2,4 mg/l; CigleneEki y C'osoviC, 1997). El tiosulfato puede ser producido biológicamente por las bacterias reductoras de sulfatos presentes en el agua de mar. Sin embargo, no está claro por qué sólo se detectó en una muestra y no en el resto.

La mayor parte de los datos de toxicidad indican que los demás niveles de la sustancia activa y los posibles productos químicos pertinentes no son tóxicos para la mayor parte de los organismos acuáticos.

Dos especies bentónicas (anfípodos y bivalvos), expuestas al agua tratada, mostraron también efectos tóxicos insignificantes. Debido a la rápida tasa de degradación en los sedimentos, así como a los bajos valores de P_{ow} y K_d, tanto del H₂O₂ como del cloroformo, el riesgo que entraña la exposición de los organismos acuáticos a los sedimentos se considera insignificante.

Debido al bajo potencial de bioacumulación y persistencia del H₂O₂ y el cloroformo en el agua, no puede producirse una intoxicación secundaria ni un proceso de biomagnificación a través de la cadena alimentaria en los ecosistemas acuáticos.

Para concluir, cabe mencionar que los análisis realizados y presentados en este documento son preliminares y se complementarán con nuevas pruebas de toxicidad y de las propiedades químicas del agua tratada, en caso necesario. En los resultados de las pruebas no se aprecian niveles mensurables de sustancias potencialmente tóxicas ni efectos agudos o crónicos considerables del efluente a plena potencia en los organismos acuáticos, ni tampoco del efluente diluido. Por tanto, cabe concluir que no existen riesgos aparentes para el medio ambiente. Asimismo, no se han encontrado sustancias carcinógenas, mutagénicas o que produzcan trastornos endocrinos en las muestras de agua tratada con el sistema de gestión del agua de lastre.

10 EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS

10.1 Riesgo para la seguridad del buque

10.1.1 Corrosión

Los factores del agua de mar que influyen en la corrosión son el contenido de sal, los gases solutos (como el oxígeno), el dióxido de carbono y el nivel de pH. Entre estos factores, el contenido de oxígeno soluto es muy importante por ser un componente que influye en la corrosión de la mayoría de metales en agua de mar. El agua tratada con el sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" contenía una cantidad insignificante de H₂O₂,

debido a la alta eficacia del procedimiento de catalización; por tanto, no parece contener ninguna cantidad importante de oxígeno reactivo. No se ha detectado ningún cambio en el pH del agua de lastre tratada, en comparación con el agua sin tratar (agua entrante).

Los resultados de la prueba preliminar de corrosión, de 30 días de duración, realizada en el sistema "FineBallast MF", no reflejan ninguna diferencia importante en las zonas de trazado y en las de no trazado entre las muestras de agua no tratada (A) y las de agua de mar tratada (B). Los resultados indican que no hay diferencias perceptibles entre el agua no tratada y el agua tratada en cuanto al potencial de oxidación debido al oxígeno reactivo.

Sólo se detectó una pequeña diferencia (~9 %) entre las muestras de la solución de limpieza (C), las de agua no tratada (A) y las de agua tratada normalmente (B), probablemente debida a la existencia de un mayor número de oxidantes en las muestras representativas de las condiciones más desfavorables (véase el apéndice IV).

Las condiciones en las que se realizó la prueba de corrosión fueron muy severas, debido a que la duración de la prueba era insuficiente. Por ello, las soluciones sometidas a prueba de cada tratamiento fueron reemplazadas cada día con agua almacenada durante cinco días tras el muestreo. En condiciones realistas, es poco probable que la superficie del tanque de lastre esté expuesta cada día a aguas renovadas. En cualquier caso, no cabe esperar una mayor corrosividad del agua de mar tratada con el sistema "FineBallast MF" durante al menos un mes. En investigaciones futuras, deberían realizarse experimentos con un periodo de prueba mayor y condiciones de exposición realistas.

10.1.2 Seguridad del personal

Se realizó una evaluación de riesgos en un sistema de gestión del agua de lastre "FineBallast MF" instalado en tierra. El objetivo del estudio era identificar y resumir todos los sucesos peligrosos conocidos que podrían ocurrir durante las fases de funcionamiento normal y de mantenimiento (véase el apéndice VII en el que figura información detallada). Se ha organizado un cursillo sobre la evaluación de los riesgos, que ha contado con participantes de MES que poseen una gran experiencia en proyectos mecánicos y de procesos, fabricación e instalación, etc. El estudio de evaluación de los riesgos incluye los siguientes aspectos: módulo de membrana, unidad CIP y seguridad humana.

Cuadro 10.1: Lista de posibles riesgos de cada módulo para los trabajadores que manejan el sistema de gestión del agua de lastre

Nº de riesgo	Riesgo	Sistema (o subsistema)	Modo
1	Fallo del módulo de membrana	Seguridad humana	Mantenimiento
2	El módulo de membrana deja de funcionar debido a las incrustaciones	Módulo de membrana	Funcionamiento
3	La solución de limpieza inunda el tanque CIP	Unidad CIP	Limpieza
4	Fugas en el tanque de la unidad CIP o en la línea de productos químicos	Unidad CIP	Limpieza
5	Los niveles de la solución del tanque CIP son demasiado bajos	Unidad CIP	Limpieza
6	Liberación de oxígeno durante la descomposición, que puede avivar un incendio	Unidad CIP	Almacenamiento

10.1.3 Valores de exposición

De acuerdo con las directrices de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), el límite de exposición para el H₂O₂ es de 1 ppm. Para la prueba realizada para la aprobación inicial con arreglo al Procedimiento (D9), es difícil simular el entorno real de un buque, por lo que se establecen condiciones estrictas a este respecto. Durante el funcionamiento de la unidad CIP, el agua de mar con H₂O₂ fluye desde el "tanque de alimentación" (véase la figura 1.3) y regresa a este tanque desde las unidades de membrana. El aire contenido en el "tanque de alimentación" se comprueba durante la circulación del agua de mar, momento en que cabe esperar la existencia de vapor de H₂O₂. Los valores obtenidos en los dos análisis son de 2,7 ppm y 3,1 ppm. Estos valores superan los marcados en las directrices de la ACGIH; sin embargo, la escotilla del tanque está cerrada durante las operaciones normales, y tiene un riesgo de fuga muy bajo. Para la prueba prescrita en las Directrices (D8), se simularía el entorno real del buque del modo más realista posible, y se comprobarían de nuevo los valores de exposición.

10.1.4 Evaluación de los riesgos para la salud de las personas

El contacto directo durante el funcionamiento del sistema se reduce al mínimo siguiendo los procedimientos de manipulación recomendados, que incluyen el uso de equipos protectores personales adecuados, guantes, gafas protectoras y, si es necesario, protección respiratoria. No se considera que exista ningún riesgo adicional para los trabajadores o el personal del buque derivados del sistema "FineBallast MF".

Además, no se prevé ningún riesgo relacionado con la mutagenicidad o la carcinogenicidad, como ya se argumentó anteriormente (secciones 5.6 y 5.7).

Con este método de gestión del agua de lastre, el producto puede manipularse con toda seguridad. La concentración media de H₂O₂ en el aire, durante un periodo de ocho horas, medida en el lugar de operación del sistema, debería mantenerse, de acuerdo con las prescripciones, por debajo de 1 ppm (véase el cuadro 10.2). La concentración medida de H₂O₂ en el aire del tanque de alimentación está por debajo de 3,1 ppm, por lo que la concentración de H₂O₂ en el aire del lugar de trabajo debería ser mucho menor.

Para estimar la concentración en el aire siguiendo el modelo de evaporación se empleó el programa de modelos de exposición. Para la estimación se utilizó el volumen variable para el lugar de trabajo (50 a 1 000 m³) y la tasa de ventilación (0 a 3/h) (véase el apéndice V en el que figura información detallada). En la estimación se utilizaron valores conservadores razonables de la mayor parte de los parámetros fisicoquímicos. Sin embargo, los resultados relativos a la concentración en el aire están por debajo de 1 ppm en todos los casos.

Por tanto, cabe concluir que solamente existe un nivel de riesgo insignificante, incluso para los trabajadores que permanecen ocho horas diarias en el lugar de operación del sistema.

Cuadro 10.2: Normas o directrices de diversos organismos sobre la concentración de H₂O₂ en el aire y la salud de las personas

Órgano regulador*	H ₂ O ₂	Descripción
OSHA	1 ppm	Límite permisible de exposición (PEL), considerado como el promedio de un turno de trabajo de ocho horas; TWA (promedio ponderado de tiempo)
AGCIH	1 ppm	
NIOSH	75 ppm	Peligro inmediato para la vida o la salud (IDLH)
AIHA	50 ppm	Directrices de planificación de la respuesta de emergencia (ERPG-2), máxima concentración en el aire por debajo de la cual se cree que casi todas las personas podrían estar expuestas hasta 1 hora sin experimentar o desarrollar efectos irreversibles u otros problemas o síntomas graves de salud que pudieran afectar a la capacidad de la persona para tomar medidas de protección

* OSHA: Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (Estados Unidos)
AGCIH: American Conference of Industrial Hygienists (Estados Unidos)
NIOSH: Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (Estados Unidos)
AIHA: American Industrial Hygiene Association (Estados Unidos)

10.2 Riesgo para el medio ambiente

Los resultados de los análisis químicos (apéndice II) y las pruebas de toxicidad (apéndice III) han llevado a la conclusión de que los riesgos para el medio acuático son insignificantes. En relación con el sistema del agua de lastre evaluado en este informe, no se han observado sustancias potencialmente peligrosas, ni toxicidad aguda y crónica importante en las muestras de agua tratada, así como en las de la solución de limpieza.

Aplicando hipótesis realistas de emisión, el agua descargada se diluirá al mínimo, docenas de veces o más, por lo que la toxicidad residual sería insignificante, tanto durante el deslastre del buque como después del mismo, si las condiciones reales no difieren de las establecidas para las pruebas descritas en este informe.

Para evaluar el posible efecto sobre el medio ambiente de la descarga del agua de lastre tratada con el sistema "FineBallast MF", se llevó a cabo la estimación del modelo de concentraciones ambientales probables (PEC) de la sustancia activa (H₂O₂) y los productos químicos pertinentes (cloroformo), empleando parámetros similares a los de las condiciones del puerto de Tokio. A continuación, las concentraciones ambientales previstas de ambos productos químicos se compararon con las concentraciones previstas sin efecto (PNEC) anteriormente indicadas.

10.2.1 Predicción de las concentraciones de descarga y ambientales (D9: 5.3.8)

10.2.1.1 Introducción

En este expediente, se usó el modelo MAMPEC (modelo de antiincrustación marina) para predecir las concentraciones ambientales de H₂O₂, que se considera constituirán la mayor parte de los TRO en el agua del puerto después de la descarga. El modelo MAMPEC fue originalmente programado para calcular las concentraciones en el medio ambiente de biocidas antiincrustantes liberados por los revestimientos de los buques. Con ciertas

modificaciones, puede utilizarse para calcular las concentraciones que son liberadas constantemente en el agua por otros procesos como, por ejemplo, el tratamiento del agua de lastre. La posibilidad de poder aplicar el modelo a cualquier sustancia química lo convierte en una herramienta útil para realizar estudios del impacto ambiental.

10.2.1.2 H_2O_2

Como hipótesis más desfavorable, los cálculos siguientes están basados en el H_2O_2 . Las PEC del H_2O_2 se calcularon sobre la base de un factor de degradación (periodo biológico) determinado durante la simulación con el modelo MAMPEC.

10.2.1.3 *Parametrización del modelo*

Para calcular la concentración ambiental del compuesto liberado en el agua del puerto y el sedimento se requieren diversos parámetros. Estos parámetros definen el puerto y sus características y el compuesto que se libera en el área marítima designada. En esta sección se presenta una parametrización pormenorizada del modelo.

10.2.1.4 *Periodo biológico*

Para elaborar los modelos de hipótesis ambientales se utilizó un amplio espectro de periodos biológicos, desde una hora hasta días. No fue posible incluir en el modelo MAMPEC la descomposición del compuesto objeto de estudio durante el vaciado de los tanques de agua de lastre. Por ello, en este caso se utilizó la hipótesis más desfavorable en la que el agua liberada de los tanques de lastre tiene la misma concentración al inicio y al final de la descarga.

10.2.1.5 *Concentraciones de H_2O_2 en el agua de lastre y cantidad de agua de lastre liberada*

En los cálculos se utilizó la siguiente concentración de H_2O_2 :

- 0,1 mg/l – una concentración observada en la solución de limpieza descontaminada (cuando se utilizó H_2O_2 al 10 %; véase el apéndice VIII), dos días o cinco días después del tratamiento.

Además, se supuso que todos los buques estaban equipados con el sistema "FineBallast MF" y que el agua se caracterizaba por el mismo tiempo de retención (nivel de H_2O_2).

Se supuso que había 15 buques anclados en el puerto de Tokio, en una superficie total de 1 504 718 m². El volumen total de agua de lastre y deslastre en la zona marítima designada se fijó en 1 378 117 m³ al año (según datos estadísticos de 2001). Suponiendo que el volumen de deslastre sea el 50 % del volumen total de lastrado y deslastrado, se descargará un volumen de agua de lastre de 689 059 m³ por año o 1 888 m³ por día o 78,7 m³ por hora. Estas cifras correspondientes al puerto de Tokio se utilizaron en los expedientes de otros fabricantes de sistemas de gestión del agua de lastre a disposición del público, por lo que sería razonable mantener las mismas hipótesis en los presentes cálculos.

Los siguientes valores iniciales para el modelo son el resultado de las hipótesis anteriores:

Concentración de productos químicos (mg/l)	Agua de lastre liberada por día (m ³)	Productos químicos liberados por día (g)
0,1 de H_2O_2	1 888	188,8
0,0002 de cloroformo	1 888	0,3776

10.2.1.6 Concentración de fondo

Se supuso que la concentración de fondo de H₂O₂ era 0 para determinar con exactitud la cantidad introducida por el sistema "FineBallast MF".

10.2.1.7 Resultados del modelo para el H₂O₂

El periodo biológico es una variable crítica para estimar los valores de las PEC del H₂O₂; sin embargo, en el medio natural, este parámetro puede verse afectado por muchos factores. Las PEC de H₂O₂ se estimaron en las condiciones descritas anteriormente para el modelo MAMPEC con un periodo biológico para el H₂O₂ que oscilaba entre 0,94 y 960 horas, lo que abarca el periodo biológico de H₂O₂ en el agua anteriormente indicado (~ 60 horas).

Las PEC del H₂O₂ aumentaron al aumentar el periodo biológico. Con el periodo biológico más largo, el valor máximo de las PEC de H₂O₂ se estimó en 0,012 µg/l.

Las concentraciones ambientales previstas de H₂O₂ (PEC de H₂O₂) varían considerablemente en función del valor del periodo biológico del H₂O₂ seleccionado como parámetro del modelo. Para un periodo biológico inferior a una hora y una concentración de descarga de 0,1 mg/l, el rango de valores de la PEC se situó entre 1,02E-07 y 5,5E-04 µg/l. Para un periodo biológico superior a 20 días y una concentración de descarga de 0,1 mg/l, el rango de valores de la PEC se situó entre 1,5E-03 y 1,2E-02 µg/l.

10.2.1.8 Resultados del modelo para el cloroformo

De manera similar a la estimación de las PEC de H₂O₂ descrita anteriormente, las PEC de cloroformo se estimaron con periodos biológicos que oscilaban entre 100 y 900 días. No hay datos previos sobre el periodo biológico del cloroformo en agua de mar, por lo que, para la estimación de la PEC, se adoptó un rango conservador. La PEC máxima de cloroformo resultó ser de sólo 0,000018 mg/l, incluso en condiciones conservadoras.

10.2.2 Efectos en los organismos acuáticos

El cuadro 10.3 muestra la concentración prevista sin efecto (PNEC) del H₂O₂.

Cuadro 10.3: Concentración prevista sin efecto (PNEC) del H₂O₂

Producto químico	PNEC (µg/l)	Factor aplicado	Observaciones
H ₂ O ₂	10	N/A	Informe sobre evaluación de riesgos de la Unión Europea (2003)
TRO	0,04	N/A	Valor conservador (PNEC de HClO en el informe sobre evaluación de riesgos de la Unión Europea (2007))
Cloroformo	48-146	N/A	Informe sobre evaluación de riesgos de la Unión Europea (2007)

10.2.3 Riesgos para el medio acuático

El posible riesgo para el medio acuático se basa en una serie de cocientes PEC/PNEC para la sustancia activa, el H₂O₂ (medido como TRO) y un producto químico pertinente —el cloroformo—, utilizando la hipótesis más desfavorable.

A continuación figuran los cocientes PEC/PNEC para las concentraciones promedio, mínima y máxima de H₂O₂ en el puerto de Tokio utilizando las diluciones que predice el modelo MAMPEC para diversos periodos biológicos de descomposición del H₂O₂. Los cocientes PEC/PNEC fueron inferiores a 1 en todos los casos en que la concentración de H₂O₂ en el agua descargada era de 0,1 mg/l (2 días después del tratamiento).

Los cocientes PEC/PNEC fueron siempre inferiores a 1 cuando se empleó el valor PNEC del H₂O₂ (10 µg/l), incluso en las condiciones más desfavorables.

Cuadro 10.4: Cocientes PEC/PNEC del H₂O₂ del agua de lastre descargada en el puerto de Tokio, con PNEC de 0,04 y 10 µg/l

Periodo biológico, h	PEC/PNEC con PNEC de 0,04 µg/l H ₂ O ₂ en la descarga- 0,1 mg L-1			PEC/PNEC con PNEC de 10 µg/l H ₂ O ₂ en la descarga- 1,3 mg L-1		
	promedio	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo
0,9375	2,24E-03	2,50E-06	1,83E-02	8,97E-06	1,10E-08	5,50E-05
1,875	4,48E-03	4,13E-05	2,22E-02	1,79E-05	1,65E-07	8,89E-05
3,75	8,90E-03	3,35E-04	3,48E-02	3,56E-05	1,34E-06	1,39E-04
7,5	1,74E-02	1,55E-03	5,28E-02	6,96E-05	6,18E-06	2,11E-04
15	3,25E-02	4,68E-03	7,85E-02	1,30E-04	1,87E-05	3,14E-04
30	5,63E-02	1,03E-02	1,15E-01	2,25E-04	4,10E-05	4,59E-04
60	8,70E-02	1,77E-02	1,61E-01	3,48E-04	7,06E-05	6,44E-04
120	1,19E-01	2,53E-02	2,09E-01	4,75E-04	1,01E-04	8,37E-04
240	1,45E-01	3,10E-02	2,50E-01	5,79E-04	1,24E-04	9,98E-04
480	1,62E-01	3,50E-02	2,78E-01	6,49E-04	1,40E-04	1,11E-03
960	1,73E-01	3,75E-02	2,95E-01	6,91E-04	1,50E-04	1,18E-03

Los cocientes PEC/PNEC del cloroformo también se estimaron utilizando el mismo método que en el caso del H₂O₂. Los resultados indican que los cocientes PEC/PNEC están muy por debajo de 1, incluso en las condiciones más desfavorables. Por tanto, los riesgos para los organismos acuáticos derivados de la presencia de cloroformo en el agua descargada son insignificantes.

Cuadro 10.5: Cocientes PEC/PNEC del cloroformo del agua de lastre descargada en el puerto de Tokio, con una PNEC de 48 µg/l

Periodo biológico, en días	PEC/PNEC Cloroformo en la descarga- 0,2 µg/l		
	promedio	mínimo	máximo
100	2,06E-07	4,38E-08	3,60E-07
450	2,08E-07	4,46E-08	3,67E-07
900	2,08E-07	4,46E-08	3,67E-07

En conjunto, los resultados de los análisis químicos (apéndice II) y las pruebas de toxicidad (apéndice III) han llevado a la conclusión de que los riesgos para el medio acuático son insignificantes. En relación con el sistema de gestión del agua de lastre evaluado en este informe, no se han observado sustancias potencialmente peligrosas, ni toxicidad aguda y crónica importante en las muestras tomadas en las condiciones más desfavorables ni en las de agua tratada.

En condiciones realistas de emisión, el agua descargada se diluirá al mínimo, docenas de veces o más, por lo que la toxicidad residual sería insignificante, tanto durante el deslastrado como después del mismo, si las condiciones realistas son pertinentes para las condiciones establecidas para las pruebas descritas en este informe.

11 REFERENCIAS

American Public Health Association (APHA), 1985. *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*. American Water Association and Water Environment Federation 16th Edition Washington D.C., 742-748 pp.

American Public Health Association (APHA), 1995. *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*. American Water Association and Water Environment Federation 20th Edition Washington D.C. 1325 pp.

Barroin, G. and Feuillade, M. (1986). *Hydrogen Peroxide as a potential algicide for *Oscillatoria rubescens** D.C. *Water Research*, 20, 619-623.

Branco MR, Marinho HS, Cyrne L and Antunes F. (2004) *Decrease of H₂O₂ Plasma Membrane Permeability during Adaptation to H₂O₂ in *Saccharomyces cerevisiae**. *The Journal of Biological Chemistry*, 279: 6501-6506.

Ciglonecki I and Cosovic B (1997). *Electrochemical Determination of Thiosulfate in Seawater in the Presence of Elemental Sulfur and Sulfide*. *Electroanalysis* 9, 775-780.

EC (European Commission), Summary Risk Assessment Report. Hydrogen Peroxide. 2003.

EC (European Commission), 2003. European Union Risk Assessment Report Vol. 38 – Hydrogen peroxide.

EC (European Commission), 2007. European Union Risk Assessment Report (Draft) – Chloroform.

EC (European Commission), 2007. European Union Risk Assessment Report (Final) – Chlorine.

Fridovich I (1978). *The biology of oxygen radicals*. *Science* 201, 875-880.

Fridovich I (1983). Superoxide radical: an endogenous toxicant. *Ann. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 23, 239-257.

Garvey, M., B. Moriceau, and U. Passow¹, 2007. *Applicability of the FDA assay to determine the viability of marine phytoplankton under different environmental conditions*. *Marine Ecology Progress Series*, 352, 17-26.

Goor G *et al.* (2005). Hydrogen Peroxide In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 5th completely revised edition, Vol. A 13. Elvers B, Hawkins S, Ravenscroft M and Schulz G (eds), VCH, Weinheim, 443-466.

IARC (1999). *Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risk Chemicals to Humans*. Volume 71. Re-evaluation of some organic chemicals, hydrazine and hydrogen peroxide.

Jochem, F., 1999. *Dark survival strategies in marine phytoplankton assessed by cytometric measurement of metabolic activity with fluorescein diacetate*. *Mar Biol*, 135, 721–728.

Moffett J and Zafiriou OC (1990) *An investigation of hydrogen peroxide chemistry in surface waters of Vineyard Sound with H₂¹⁸O₂ and ¹⁸O₂*. *Limnology & Oceanography*. 35: 1221-1229.

Pouneva, I., 1997. *Evaluation of algal culture viability and physiological state by fluorescent microscopic methods*. Bulg. J. Plant Physiol., 23(1-2): 67-76.

SCCP (Scientific Committee on Consumer Products), *Opinion on hydrogen peroxide, in its free form or when released, in oral hygiene products and tooth whitening products*, 18 December 2007.

Sharp, J.H., 1974. *Improved analysis for "particulate" organic carbon and nitrogen from seawater*. Limnol. Oceanogr. 19, 984-989.

Spain JC, Milligan JD, Downey DC and Slaughter JK (1989). *Excessive bacterial decomposition of H₂O₂ during enhanced biodegradation*. Groundwater 27, 163-167.

UNESCO, 1994. *Protocols for Joint Global Carbon Flux Study (JGOFS) Core Measurement. Manuals and Guides*, 29: 101-118 pp.

US EPA (1984) *Health assessment document for manganese. Final draft. Cincinnati, OH, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development (EPA-600/8)*.

APÉNDICE I

EXTRACTO DEL PLAN DE GARANTÍA DE CALIDAD DE PROYECTO

Plan de garantía de calidad de proyecto

para las

Pruebas del sistema FineBallast MF

con fines de

homologación

por

KORDI

República de Corea

con arreglo a las

Directrices para la aprobación de los sistemas de gestión del agua de lastre (D8)

Nombre del proyecto: FineBallast MF – Sistema de gestión del agua de lastre

APÉNDICE II

INFORMES SOBRE LA PRUEBA DEL ANÁLISIS QUÍMICO

Plan de garantía de calidad de proyecto (QAPP)

Sistema de gestión del agua de lastre FineBallast MF Korea Testing & Research Institute

Datos del análisis químico de las sustancias activas y los productos químicos pertinentes

No se ha detectado la sustancia activa (H_2O_2) ni en el agua no tratada ni en la tratada con el sistema FineBallast MF™ en todas las salinidades sometidas a prueba (21 psu o 34 psu). De acuerdo con lo anterior, tampoco se han detectado en ninguna muestra productos químicos TRO, incluido el H_2O_2 .

Sólo se han detectado tres productos químicos pertinentes (cloroformo, tiosulfato y 1,2,3-tricloropropano) en un número limitado de muestras.

Se detectó un posible producto químico pertinente, el 1,2,3-tricloropropano, en una sola muestra de agua no tratada, por lo que, en consecuencia, no puede considerarse un subproducto del tratamiento con el sistema de gestión del agua de lastre.

El tiosulfato se detectó en una muestra de agua tratada, preparada para la prueba de toxicidad crónica en peces, con una concentración de 1,8 mg/l.

El cloroformo se detectó en dos muestras de la solución de limpieza descontaminada (0,09 µg/l y 0,20 µg/l) y en una muestra de agua no tratada (0,19 µg/l).

A continuación se describen los métodos de análisis químicos utilizados para la aprobación inicial del sistema, así como los resultados en bruto.

APÉNDICE III

INFORMES SOBRE LAS PRUEBAS CON ORGANISMOS ACUÁTICOS

Plan de garantía de calidad de proyecto (QAPP)

Sistema de gestión del agua de lastre FineBallast MF NeoEnBiz Co.

Informe sobre la prueba de toxicidad en organismos acuáticos

No se observaron indicios importantes de toxicidad aguda en el agua de mar tratada, en comparación con el agua de mar no tratada (agua natural).

APÉNDICE IV

INFORMES SOBRE LAS PRUEBAS DE CORROSIÓN

Sistema de gestión del agua de lastre FineBallast MF Korea Testing & Research Institute

Resumen de los resultados de las pruebas de corrosión

Las pruebas de corrosión se realizaron para evaluar los efectos del efluente del sistema "FineBallast MF" sobre los revestimientos protectores del tanque del agua de lastre. Para la prueba se aplicó un sistema de revestimiento epoxídico, que es el más utilizado en revestimientos de tanques de lastre, al tanque de lastre con simulación de olas de conformidad con el documento MSC 82/WP.3 de la OMI.

En conclusión, los resultados de las pruebas indicaron claramente que el agua de mar tratada —el efluente del sistema "FineBallast MF"—, tuvo un efecto insignificante en el rendimiento del revestimiento del tanque de lastre del buque, si se compara con el agua de mar natural, y que el rendimiento del revestimiento cumplía con las prescripciones de la OMI relativas al rendimiento de los revestimientos de protección, independientemente de las condiciones del agua de mar.

APÉNDICE V

ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN EL AIRE EN EL LUGAR DE TRABAJO (ENFOQUE MÁS RAZONABLE POSIBLE)

Al objeto de evaluar los riesgos para la salud de los trabajadores encargados del funcionamiento del sistema "FineBallast MF", se estimaron las concentraciones en el aire en el lugar de trabajo. Para la estimación conservadora de las concentraciones, se supusieron las condiciones más desfavorables razonables. Se empleó el programa ConsExpo (Versión 4.1; RIVM), y, como modo de liberación, se seleccionó el modelo de evaporación. El cuadro AV.1, a continuación, muestra las condiciones para el cálculo de la concentración en el aire en el lugar de trabajo.

Se supuso que los trabajadores permanecen ocho horas diarias en el lugar de trabajo. El volumen del producto es de 5 000 kg (l) y la concentración de H₂O₂ es del 1,5 %. El volumen del espacio varía entre 50 m³ y 1 000 m³, lo que supone un rango razonable de volúmenes en las salas de operaciones de los sistemas de gestión del agua de lastre en los buques (el volumen normal es de 770 m³). Se desconoce la tasa media de la ventilación, por lo que, para el cálculo, se han utilizado tasas de ventilación variables, entre 0 y 3 h⁻¹. Se desconocía la presión parcial del vapor para las condiciones de temperatura de la sala (~20 °C) y una solución en agua del 1,5 % de H₂O₂, por lo que se utilizaron los valores de las condiciones más severas (5 % de H₂O₂ en agua a 50 °C). Se desconocía la tasa de transferencia de masa del H₂O₂, por lo que se seleccionó uno de los modelos de aproximación por defecto del programa (el método de Langmuir), debido a que proporciona valores mayores que otros métodos.

Cuadro AV.1: Condiciones para la estimación de la concentración máxima en el aire de H₂O₂ en el lugar de trabajo

Parámetro	Valor
Duración de la exposición	8 h/día
Cantidad de producto	5 000 kg
Composición fraccional del peso	0,015 (1,5 %)
Volumen de la sala (variable)	50 a 1 000 m ³
Tasa de ventilación (variable)	0 a 3 /h
Superficie de liberación	100 cm ²
Temperatura	20 °C
Peso molecular	34
Presión parcial del vapor	10 pascales (5 % de H ₂ O ₂ en agua a 50 °C) (de la fig. 7.1)
Tasa de transferencia de masa	6 720 m/min (Aproximación mediante el método de Langmuir)
Peso molecular de la matriz	18
Frecuencia de exposición	Diaria
Log P _{ow}	-1,57
Tasa de inhalación	34,7 m ³ /día (por defecto)
Peso corporal	65 kg (por defecto)

Los resultados figuran en el cuadro AV.2, a continuación. Aunque la estimación se realizó suponiendo condiciones muy severas o parámetros más elevados (condiciones más desfavorables), la concentración estimada en el aire fue inferior a 1 ppm en todos los casos. Si utilizamos la condición más realista (por ejemplo, el valor realista de la presión parcial del vapor sería inferior a 1 Pa), la concentración estimada disminuirá considerablemente.

**Cuadro AV.2: Concentración estimada en el aire de H₂O₂ en el lugar de trabajo
(véase el cuadro AV.1 para más información sobre las condiciones)**

a) Tasa de ventilación: 0 a 3 veces/h para un volumen en la sala de 770 m³

Tasa de ventilación (1/h)	Concentración en el aire (mg/m ³)	Concentración en el aire (ppm)
0	1,09	0,78
0,25	1,04	0,75
0,5	0,99	0,71
1	0,91	0,65
2	0,78	0,56
3	0,69	0,49

b) Volumen en la sala: 50 a 1 500 m³ con una tasa de ventilación de 1/h

Volumen en la sala	Concentración en el aire (mg/m ³)	Concentración en el aire (ppm)
50	1,10	0,79
250	1,04	0,75
500	0,97	0,70
770	0,91	0,65
1 500	0,86	0,62

APÉNDICE VI

DATOS DE REFERENCIA SOBRE LA ECOTOXICIDAD DEL H₂O₂ Y
EL CLOROFORMO EXTRAIDOS DE LA BIBLIOGRAFÍA

En esta sección se muestran los resultados de referencia sobre la toxicidad ecológica de la sustancia activa (H₂O₂) y el único producto químico pertinente detectado (cloroformo). No hay muchas fuentes fiables de datos de toxicidad en los organismos marinos. Por tanto, se han recopilado los resultados de investigaciones en las que se utilizaron especies de agua de mar o de agua dulce. La concentración más baja de H₂O₂ con efecto para las especies marinas fue de 850 µg/l; para las especies de agua dulce fue de 100 µg/l (véanse los cuadros AVI.1 y 2). Las especies de algas fueron relativamente sensibles, comparadas con los invertebrados y los peces.

Cuadro AVI.1: Toxicidad aguda del H₂O₂ en organismos acuáticos

Taxón	Nombre de la especie	Nombre común	Punto final de toxicidad	Concentración (µg/l)	Referencia
Algas	<i>Nitzschia closterium</i>	Diatomea (marina)	EC ₅₀ (48 h)	850	Florence y Stauber, 1986.
Algas	<i>Sceletonema costatum</i>	Diatomea (marina)	EC ₅₀ (72 h)	1 380	Knight <i>et al.</i> 1995 [citado a su vez de EC (2003)]
Rotíferos	<i>Brachionus plicatilis</i>	Rotífero (marina)	EC ₅₀ (72 h)	2 400	Smit <i>et al.</i> , 2008.
Anfípodos	<i>Corophium volutator</i>	Scud (marina)	EC ₅₀ (10 d)	611 000	Smit <i>et al.</i> , 2008.
Cladocera	<i>Daphnia pulex</i>	Pulga de agua (agua dulce)	EC ₅₀ (48 h)	2 400	Shurtleff, 1989 [citado a su vez de EC (2003)]
Peces	<i>Pimephales promelas</i>	Carpita cabezona (agua dulce)	LC ₅₀ (96 h)	16 400	Shurtleff (1989) [citado a su vez de EC (2003)]

Cuadro AVI.2: Toxicidad crónica del H₂O₂ en organismos acuáticos

Taxón	Nombre de la especie	Nombre común	Punto final de toxicidad	Concentración (µg/l)	Referencia
Algas	<i>Anabaena flosaquae</i>	Cianobacteria (agua dulce)	LOEC (32 días)	100	Kavanagh (1992) [citado a su vez de EC (2003)]

La concentración más baja de cloroformo con efecto para las especies marinas fue de 385 µg/l; para las especies de agua dulce fue de 1 463 µg/l (véanse los cuadros AVI.3 y 4).

Cuadro AVI.3: Toxicidad aguda del cloroformo en organismos acuáticos

Taxón	Nombre de la especie	Nombre común	Punto final de toxicidad	Concentración (µg/l)	Referencia
Algas	<i>Skeletonema costatum</i>	Diatomea (marina)	EC ₅₀	477 000	Cowgill <i>et al.</i> , 1989.
			NOEC	216 000	
Bivalvos (moluscos)	<i>Crassostrea virginica</i>	Ostra (marina)	LC ₅₀ (48 h)	385	Stewart <i>et al.</i> 1979 [citado a su vez de EC (2007)]
Peces	<i>Lepomis macrochirus</i>	Pez (marina)	LC ₅₀ (96 h)	18 000	Anderson y Lustry, 1980 [citado a su vez de EC (2007)]
Rotíferos	<i>Brachionus calyciflorus</i>	Rotífero (agua dulce)	LC ₅₀	2 000	Snell <i>et al.</i> , 1991.

Cuadro AV.4: Toxicidad crónica del cloroformo en organismos acuáticos

Taxón	Nombre de la especie	Nombre común	Punto final de toxicidad	Concentración (µg/l)	Referencia
Algas	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	Algas (agua dulce)	EC ₁₀ (72 h)	3 610	Brack y Rottler, 1994 [citado a su vez de EC (2007)]
Invertebrados	<i>Daphnia magna</i>	Pulga de agua (agua dulce)	NOEC (21 días)	6 300	Kuhn <i>et al.</i> 1989 [citado a su vez de EC (2007)]
Peces	<i>Oryzias latipes</i>	Pez (agua dulce)	NOEC (6/9 meses)	1 463	Toussaint <i>et al.</i> 2001 [citado a su vez de EC (2007)]

* * *

APÉNDICE VII

EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE

El peligro derivado de la operación de los seis elementos descritos en el cuadro 10.1 entraba dentro de lo previsto; estos elementos se incluyeron en la evaluación de los riesgos descrita en la sección 10. En este apartado, se realiza una descripción detallada del contenido de cada operación peligrosa y de la contramedida pertinente.

APÉNDICE VIII

EXPERIMENTO REALIZADO EMPLEANDO UN 10 % DE H₂O₂ COMO SOLUCIÓN DE LIMPIEZA EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE

La concentración normal de H₂O₂ en la solución de limpieza durante el funcionamiento de la unidad CIP oscila entre 1 % y 1,5 %. Para simular condiciones más severas, se utilizó una concentración del 10 % de H₂O₂ en agua de mar como solución de limpieza y se realizaron mediciones de los productos químicos que permanecían en la solución de limpieza durante un periodo de almacenamiento de cinco días.

Se realizaron mediciones de TRO y otros productos químicos enumerados en el cuadro 1 en cinco muestras. La muestra F1-A contenía agua de mar no tratada con un 10 % de H₂O₂. La muestra F1-B era de la misma agua de mar con un 10 % de H₂O₂, que se había usado como solución de limpieza en el sistema de gestión del agua de lastre. Ambas muestras, la F1-A y la F1-B se almacenaron durante un día antes del análisis. Las muestras F1-C, F2-C y F5-C fueron las muestras de agua de mar que se utilizaron como solución de limpieza, aunque catalizadas mediante MnO₂ y almacenadas durante 1, 2 y 5 días, respectivamente.

Sólo se detectó TRO y cloro libre en todas las muestras. Las concentraciones de TRO fueron de aproximadamente 100 mg/l en las muestras A y B, lo que equivale a una concentración casi 1000 veces menor respecto al nivel de concentración nominal inicial de H₂O₂ (10 % o 100 000 mg/l). Los TRO podrían disminuir tras un día de almacenamiento debido a la rápida degradación del H₂O₂. Las concentraciones de TRO en las muestras de agua de mar catalizada fueron aproximadamente 100 veces menores que las de las muestras no analizadas, lo que demuestra la eficacia del rendimiento del MnO₂ como catalizador del sistema de gestión del agua de lastre.

APÉNDICE IX

ANÁLISIS DEL MANGANESO PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE FINEBALLAST MF

Resumen de los resultados del análisis del manganeso

Se realizó un análisis del manganeso para evaluar el impacto ambiental del manganeso disuelto que permaneció en la solución de limpieza descontaminada del sistema "FineBallast MF".

Para concluir, el resultado de la prueba indicó una concentración de manganeso disuelto en la solución de limpieza descontaminada (0,097~0,198 mg/l). Dicha concentración era entre 10 y 20 veces superior a la del agua de mar natural. Sin embargo, se prevé que la concentración de manganeso disuelto en la solución de limpieza descontaminada se igualará a la del agua de mar natural, debido a la dilución de dicha solución en el tanque de lastrado al menos 70 veces o más. De acuerdo con los valores PNEC para la vida acuática facilitados por el Ministerio de Medio Ambiente, la concentración que provocaría una inhibición del crecimiento de los peces es de 0,028 mg/l, y la concentración de la solución de limpieza descontaminada diluida no excede de este valor ("Volume 6 of the chemical of the environmental risk evaluation", Volumen I (2008)).
