



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



AGENCE  
NATIONALE  
DE LA  
RECHERCHE

# Degradación abiótica y biótica y toxicidad de plásticos oxo-biodegradables en aguas marinas - OXOMAR

## Degradación y toxicidad de los plásticos oxo-biodegradables en el mar

### Plásticos en el mar: un problema social, económico y político

Entre las 300.000 toneladas de residuos plásticos que se encuentran hoy en la superficie de los océanos, más de la mitad están hechas de polietileno. La degradación del polietileno (PE) por microorganismos es efectivamente muy lenta, y una solución propuesta por los fabricantes consiste en integrar aditivos que favorecen la oxidación del PE para hacerlo más accesible a la biodegradación: oxobiodegradable (OXO).

Nuestro objetivo es proporcionar datos científicos sólidos sobre el destino de los OXO en el mar. La base del proyecto se basa en 3 ejes que son evaluar (1) la degradación abiótica, (2) la biodegradación y (3) la posible toxicidad de los OXO cuando se liberan accidentalmente al mar.

### Métodos multidisciplinares: del diseño al futuro de los OXO en el mar

Este proyecto se basa en la complementariedad de socios, cada uno de los cuales aporta sus propias habilidades. El socio industrial (SYMPHONY) produce productos OXO distribuidos en más de 60 países. Suministra los polímeros con o sin aditivos a los demás socios.

El socio CNEP es una PYME especializada en el envejecimiento artificial acelerado de polímeros mediante cerramientos que combinan los efectos de la luz rica en luz ultravioleta y calor. El socio de LOMIC incuba plásticos en acuarios con circulación directa en agua de mar, evalúa su colonización por microorganismos y prueba su biodegradabilidad mediante enfoques de acoplamiento de respirometría, producción de ATP, actividad heterotrófica, actividad ectoenzimática y genómica ambiental. Trabaja en estrecha colaboración con el laboratorio ICCF que evalúa la tasa de degradación y está interesado en las vías metabólicas mediante el uso de herramientas de espectrometría, HPLC, RMN y espectrometría de masas. LOMIC también evalúa la toxicidad de los OXO y sus aditivos en estrecha colaboración con IFREMER basándose en el desarrollo de varios modelos biológicos: bacterias, fitoplancton, anfioxos, erizo de mar, lubina.

La complementariedad de los socios permite un agrupamiento de resultados para un evaluación posible del futuro de los OXO en el mar.

### Resultados

A mitad del proyecto, se pueden destacar varios avances significativos. En primer lugar, pudimos identificar las comunidades microbianas que colonizan los OXO en el mar y demostramos que eran muy diferentes de las que se encuentran convencionalmente en el agua de mar circundante. Las poblaciones encontradas en los OXO más oxidados también son muy diferentes que en los OXO no oxidados o en el PE de referencia. La actividad bacteriana también es mayor allí, lo que implica una biodegradación en el medio natural.

Este análisis se refuerza al observar las mismas tendencias cuando los plásticos se colocan en un medio sin ninguna otra fuente de carbono.

Finalmente, pudimos observar la toxicidad de determinadas formulaciones de OXO cuyos aditivos prooxidantes contienen Cobalto. Por otro lado, no se detecta toxicidad por los aditivos a base de manganeso y / o hierro, que permiten alcanzar niveles de oxidación similares después del envejecimiento. Este resultado repercutirá directamente en la elección de los productos utilizados por los fabricantes en el diseño de los plásticos OXO.

## Perspectivas

En la segunda parte del proyecto, el uso de trazadores isotópicos permite la demostración directa de la biodegradabilidad. Este avance tecnológico permite también determinar las tasas de biodegradación de los OXO por parte de las bacterias, así como identificar qué bacterias marinas son capaces de participar en complejos procesos de biodegradación. Estos resultados podrían tener consecuencias significativas en el mercado de OXO, pero también de manera más general en el mercado de plásticos biodegradables.

## Producciones científicas y patentes

Presentación de sobre SOLEAU N ° DSO2017012612 (20/12/2017) para la protección del protocolo "Determinación de la biodegradabilidad aeróbica de plásticos en agua de mar"

## Resumen de envío

La basura plástica marina es un problema ambiental global (descriptor 10 de la Directiva Marco de la Estrategia Marina de la UE) ya que casi el 10% de las 299 millones de toneladas de plástico producidas en todo el mundo ingresan accidental o deliberadamente al medio ambiente. Se considera que los océanos son los principales receptores de basura plástica. Los plásticos que contienen aditivos prooxidantes llamados oxo-biodegradables (OXO) se han introducido en el mercado (el 10% de las bolsas de plástico en Francia son OXO) como material que promete biodegradabilidad, pero su destino en aguas marinas está poco investigado.

El proyecto OXOMAR agrupa al mayor fabricante de OXO de Europa (Symphony Environmental Technologies), una empresa especializada en la valorización de investigaciones académicas sobre envejecimiento de polímeros (CNEP), y tres unidades académicas (ICCF, LOMIC, IFREMER) especializadas en química de materiales, microbiología marina y ecotoxicología.

El objetivo de OXOMAR es evaluar la biodegradación abiótica (tarea 1) y biótica (tarea 2) de OXO en el mar, así como su potencial toxicidad para los organismos marinos (tarea 3).

Este proyecto presenta varias novedades que incluyen:

- (i) el uso de envejecimiento artificial para evaluar el destino de OXO de diferentes composiciones (incluido un polímero híbrido OXO-HYDRO) en los océanos relacionados con factores ambientales abióticos,
- (ii) la combinación de metodologías innovadoras que utilizan isótopos estables marcados con <sup>13</sup>C-OXO para obtener la primera estimación de la tasa de biodegradación de OXO en el mar, junto con la identificación original de las bacterias que realizan esta biodegradación,
- (iii) la evaluación de la posible toxicidad de OXO al considerar tanto la ingestión de microplásticos como la lixiviación de aditivos prooxidantes mediante el uso de un conjunto sin precedentes de organismos marinos de varios niveles tróficos, hábitats y comportamientos alimentarios.

La evaluación del destino de las nuevas formulaciones de plásticos en el medio ambiente es una preocupación social y medioambiental, que encaja perfectamente con el objetivo de la "Défi 1" (ORIENTACIÓN 4). El potencial de avance científico es muy alto en este proyecto, ya que hasta ahora se han realizado muy pocos estudios sobre el destino de OXO en aguas marinas. Los nuevos resultados de investigación obtenidos en este proyecto PRCE son mutuamente beneficiosos para el sector académico e industrial y para el mercado de OXO en general. Por ejemplo, "el impacto del uso de bolsas de plástico oxo-biodegradables en el medio ambiente" ha sido identificado como una de las prioridades del Consejo y Parlamento Europeo para la reducción del consumo de bolsas de plástico (Art. 20a (2) de Directiva 2015-720).



Dr. Ghiglione Jean-François, Director de investigación CNRS  
Laboratoire d'Océanographie Microbienne - Francia  
Correo electrónico: ghiglione@obs-banyuls.fr

## El proyecto ANR-OXOMAR Evaluación de la biodegradabilidad y toxicidad de plásticos oxobiodegradables en el mar

**Razón fundamental:** El propósito del proyecto ANR-OXOMAR es investigar si los plásticos oxo-biodegradables se biodegradarán completamente en un tiempo razonable en el ambiente marino, e investigar si el plástico oxo-biodegradable o sus subproductos crean alguna toxicidad en el ambiente marino.

La biodegradabilidad de los plásticos es la capacidad de descomponer los plásticos en sustancias más simples que pueden convertirse totalmente mediante la actividad microbiana en biomasa microbiana, agua y CO<sub>2</sub>. Los plásticos oxo-biodegradables (OXO) están hechos de polímeros convencionales como polietileno (PE) o polipropileno (PP) con la adición de un catalizador prodegradante (a menudo una sal de manganeso o hierro) que cataliza el proceso de oxidación abiótica que reduce el peso molecular. y permite la biodegradación.

El proyecto OXOMAR está financiado por la Agencia Nacional de Investigación de Francia (ANR) y se basa en la experiencia complementaria de cuatro laboratorios independientes con gran experiencia en sus respectivos campos (CNEP, LOMIC, ICCF, IFREMER). El proyecto se inició en 2016.

**Resultados:** Hemos obtenido resultados congruentes de nuestro enfoque multidisciplinario que muestra claramente que los plásticos oxo-biodegradables se biodegradan en el agua de mar y lo hacen con un nivel significativamente mayor de eficiencia que los plásticos convencionales. El nivel de oxidación obtenido debido al d<sub>2</sub>w Se encontró que el catalizador prodegradante es de crucial importancia en el proceso de degradación. De las seis formulaciones probado, el pro-oxidante Mn / Fe fue el más eficiente, sin efectos tóxicos bajo nuestras condiciones experimentales. La biodegradabilidad se demostró mediante el uso de bacterias de cultivo. *Rhodococcus rhodochrous* o por una compleja comunidad marina natural de microorganismos.

También desarrollamos con éxito la etiqueta 13C-OXO que nos permitirá rastrear la incorporación de carbono en las células y para seguir su mineralización completa en CO<sub>2</sub>, con el fin de proporcionar una mayor comprensión del proceso.

**Metodología:** El proyecto OXOMAR utiliza un amplio conjunto de metodologías complementarias y de alto nivel, incluidos los avances más recientes en:

(I) Física: el envejecimiento artificial es uno de los procesos clave para acelerar la degradación abiótica mediante el uso de rayos ultravioleta y temperatura, y para este proyecto se diseñaron equipos específicos (rueda de Bandol o SEPAP) para permitir una mejor simulación del entorno marino.

(ii) Química: también se desarrollaron nuevos métodos analíticos en química (espectrometría de masas de alta resolución y espectroscopia de RMN) para caracterizar los subproductos de la degradación, es decir, los 'oligómeros' que son pruebas de biodegradabilidad en el paso de transición entre los polímeros iniciales y los monómeros que serán ingeridos y biodegradados por microorganismos para finalmente ser transformado en CO<sub>2</sub>.

(iii) Microbiología: avances recientes en microbiología (respirometría, metagenómica, metabolómica, El sondeo de isótopos estables de ADN) también se utilizaron para evaluar mejor el proceso de biodegradación y tener en cuenta la gran biodiversidad de microorganismos que viven en los plásticos, la llamada 'plastisfera'.



Dr. Ghiglione Jean-François, *Director de investigación CNRS*  
*Laboratoire d'Océanographie Microbienne - Francia*  
*Correo electrónico: ghiglione@obs-banyuls.fr*

(iv) Toxicología: se utilizó un gran conjunto de organismos marinos con diferente sensibilidad a los contaminantes (incluido el erizo de mar, la lubina, anfioxus, ostras y bacterias) como bioindicadores de la ausencia de elementos tóxicos potenciales del polímero original y de los subproductos.

**Lista de publicaciones científicas revisadas por pares relacionadas con el proyecto ANR-OXOMAR:**

1. Jacquin y col. (2019) Ecotoxicología microbiana de desechos plásticos marinos: una revisión sobre colonización y biodegradación por la 'plastisfera'. *Fronteras en microbiología*, 10: 865.
2. Dussud y col. (2018) Evidencia de partición de nichos entre bacterias que viven en plásticos, partículas orgánicas y aguas marinas circundantes. *Contaminación ambiental*, 236: 807-816.
3. Dussud y col. (2018) Colonización de plásticos no biodegradables y biodegradables por microorganismos marinos. *Fronteras de la microbiología*, 9: 1571.
4. Chapron y col. (2018) Los microplásticos son una seria amenaza para los arrecifes de coral de aguas profundas. *Informes científicos*, 8: 15299.
6. Eyheraguibel y col. (2018). Escenarios ambientales para la degradación de oxopolímeros. *Chemosphere*.198: 182.
7. Eyheraguibel y col. (2017). Caracterización de oligómeros oxidados de películas de polietileno por espectrometría de masas y espectroscopía de RMN antes y después de la biodegradación por un *Rhodococcus rhodochrous* presión. *Quimiosfera*, 184: 366-374.

**Breve CV del coordinador:**

El Dr. Jean-François Ghiglione es director de investigación del centro nacional francés de investigación científica (CNRS) en el Laboratoire d'Océanographie Microbienne desde 2001. Es el jefe del equipo "Ecotoxicología e ingeniería microbianas marinas" y cofundador de la puesta en marcha Plastic @ Sea.

Es codirector de la red francesa "GDR 2050 Polymeres & Oceans" y miembro del comité científico del club empresarial BeMed. Coordinó 15 proyectos nacionales e internacionales y publicó 76 artículos científicos en revistas especializadas (índice h 30). Dispensó 41 conferencias para audiencia general y fue entrevistado para 122 artículos de prensa y 71 reportajes de Radio / TV.

Banyuls sur mer, 09/04/2020  
Dr. Jean-François Ghiglione  
(Coordinador del proyecto)

## COORDINADOR DEL PROYECTO

Sr. Jean Francois Ghiglione (Laboratorio de Oceanografía Microbiana)

El autor de este resumen es el coordinador del proyecto, quien es responsable del contenido de este resumen. La ANR declina cualquier responsabilidad en cuanto a su contenido.

## PARTNER

### Symphony Environmental Technologies

**Michael Laurier (CEO de Symphony Environmental Limited - UK) afirmó:**

"Ningún gobierno puede dudar ahora que el plástico oxobiodegradable (a diferencia del plástico oxodegradable) se biodegrada adecuadamente en el ambiente natural y no es tóxico. Por lo tanto, este no es el tipo de material que la UE tenía la intención de prohibir y confío en que esta y otras pruebas científicas ahora disiparán la confusión en el mercado".

**IFREMER** Laboratorio de ecotoxicología

**CNEP** Centro Nacional de Evaluación de Fotoprotección

**ICCF-CNRS** Instituto de Química Clermont-Ferrand

**LOMIC** Laboratorio de Oceanografía Microbiana

Ayuda de la **ANR** 490.285 euros

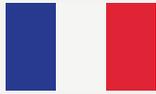
Inicio y duración del proyecto científico: enero 2017 - 36 meses

**Fuente:** ARN (Agence Nationale De La Recherche)

## Países que emitieron normas técnicas de uso de la tecnología Oxo-biodegradable



**ASTM 6954**



**AC T51-808**



**BS 8472**



**EAU-ESMA  
5009:2009**



**SPCR 141**



**SASO**

### Enlaces:

**ASTM:** <https://degradable.com.pe/wp-content/uploads/2021/04/ASTM-D6954-18.pdf>

**AFNOR:** <https://degradable.com.pe/wp-content/uploads/2021/04/09-FRANCIA-AFNOR-AC-T51-808.pdf>

**BSI:** [https://degradable.com.pe/wp-content/uploads/2021/04/BS-9472-2011\\_BRITIS-STANDARD-8472-en-es.pdf](https://degradable.com.pe/wp-content/uploads/2021/04/BS-9472-2011_BRITIS-STANDARD-8472-en-es.pdf)

**ESMA:** <https://degradable.com.pe/wp-content/uploads/2018/05/ESMA.pdf>

**SPCR:** [https://degradable.com.pe/wp-content/uploads/2021/04/SUECIA-SPCR\\_141\\_EN.pdf](https://degradable.com.pe/wp-content/uploads/2021/04/SUECIA-SPCR_141_EN.pdf)

**SASO:** <https://degradable.com.pe/wp-content/uploads/2021/04/SASO-Technical-Regulations-English-2.pdf>