

## RES URBIS, generación de bioplásticos a partir de la fracción orgánica municipal

*Julia Hereza Atienza*

*Dirección de Prevención y Gestión de Residuos - Área Metropolitana de Barcelona (AMB)*

### RESUMEN

El proyecto RES URBIS (Resources from Urban Bio-waste) está financiado por la Unión Europea mediante el Programa Horizon 2020, que a través de la investigación y el desarrollo, pretende reducir al mínimo la cantidad de residuos destinados a depósito controlado, y obtener nuevos bioproductos —más sostenibles con el medio ambiente— utilizando los mismos residuos como alternativa renovable a los recursos petrolíferos.

El objetivo general de RES URBIS es desarrollar un sector tecnológico innovador para el tratamiento integrado de diversos residuos orgánicos municipales a fin de obtener bioplásticos. Estas tecnologías permitirán transformar la gran cantidad de materia orgánica que generan las ciudades en productos útiles de alto valor de mercado y con impactos positivos sobre el medio ambiente, la economía y el empleo verde.

Esta finalidad se pretende alcanzar mediante la recopilación y el análisis de datos sobre la producción de biorresiduos urbanos, sus características y los sistemas de gestión actuales en cuatro grupos territoriales seleccionados (Área Metropolitana de Barcelona, Área Metropolitana de Lisboa, Provincia de Trento, Gales del Sur). Los biorresiduos utilizados son el exceso de lodo de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas; la fracción orgánica municipal separada en origen y desechos de parques y jardines.

El proyecto se centra en la obtención de polihidroxialcanoato (PHA), un poliéster lineal que se genera a partir de los ácidos grasos volátiles resultantes de la descomposición de los residuos orgánicos. Mediante la obtención del PHA, RES URBIS está generando bioplásticos con base PHA, disolventes biológicos y fibras biodegradables para la producción de otros biocompuestos.

Los bioplásticos obtenidos por el proyecto podrán ser utilizados como material de embalaje, bolsas de plástico biodegradable y bienes de consumo duraderos como aparatos electrónicos. Otra aplicación del bioplástico generado se halla en el ámbito de la remediación ambiental, con la producción de materiales de liberación de carbono controlado para sanear aguas subterráneas contaminadas.

**Palabras clave:** Residuos; Bioplásticos; PHA; Polihidroxialcanoato; Innovación; Sostenibilidad; Biodegradable; Envases

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la gestión de residuos se encuentra en una etapa de cambio hacia una economía circular, en la que se fomenta la prevención y recuperación de los mismos. La fracción orgánica del residuo municipal separado en origen (FORM) tiene un peso relevante en la gestión debido a las tendencias de consumo y directrices europeas (Directiva (UE) 2018/851, de 30 de mayo de 2018). Las tecnologías actuales permiten valorizar este residuo obteniendo biogás o compost de calidades variables. Ambos productos tienen un valor económico relativamente bajo, por lo que se crea la necesidad de desarrollar tecnologías innovadoras que permitan obtener un recurso de mayor valor añadido.

En este caso, el tratamiento de la FORM se puede realizar a partir de su fermentación mediante cultivos microbianos mixtos, muy aptos para este tipo de residuo heterogéneo. Durante el proceso de fermentación se generan Ácidos Grasos Volátiles (AGV) que permiten producir polihidroxialcanoato (PHA), un poliéster lineal de propiedades adaptables a una amplia gama de productos y aplicaciones (Arcos-Hernández *et al.*, 2015).

El 16 de enero de 2018, la Comisión Europea aprobó la primera estrategia europea relativa al plástico para afrontar los efectos que el residuo de este material provoca sobre el medio ambiente (COM/2018/028 final de la Comisión, de 16 de enero de 2018). Las medidas propuestas pretenden contribuir a la transición hacia una economía circular y a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, de los compromisos en relación con el clima y de los objetivos de la política industrial.

Frente a este nuevo contexto social y legislativo, surge la necesidad de potenciar la innovación e investigación para obtener nuevos productos más sostenibles pero con capacidades similares a los existentes. De esta situación nace el proyecto RES URBIS (Resources from Urban Bio-waste), que pretende desarrollar un sector tecnológico innovador para el tratamiento integrado de diversos residuos orgánicos municipales a fin de obtener bioplásticos.

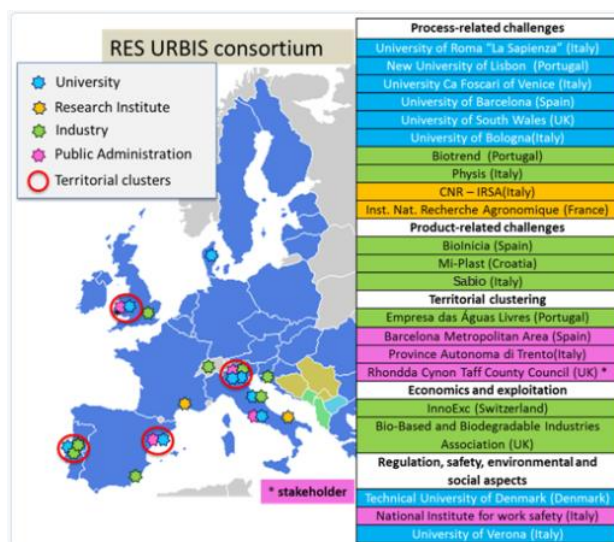


Figura 1. Consorcio del proyecto RES URBIS

El proyecto RES URBIS está financiado por la Unión Europea mediante el Programa Horizonte 2020 que, a través de la investigación y el desarrollo, busca reducir al mínimo la cantidad de residuos destinados a depósito controlado, y obtener nuevos bioproductos utilizando los mismos residuos como alternativa renovable a los recursos petrolíferos. Se trata de un proyecto de aproximadamente 3M € liderado por la Universidad La Sapienza en Roma, y en el que participan 21 colaboradores (grupos industriales, asociaciones de empresas, entes metropolitanos, universidades y centros de investigación) de 8 estados miembros (Croacia, Dinamarca, España, Francia, Italia, Portugal, Reino Unido y Suiza).

## 2. FUNDAMENTOS Y METODOLOGÍA

Los objetivos del proyecto se pretenden alcanzar mediante la recolección y análisis de datos relacionados con la producción de biorresiduos urbanos, sus características y evaluando los sistemas de gestión actuales de cuatro grupos territoriales seleccionados: el Área Metropolitana de Barcelona; el Área Metropolitana de Lisboa; la Provincia de Trento; y la provincia del Sur de Gales.

Los biorresiduos utilizados son los residuos sólidos urbanos separados en origen (FORM), el lodo de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, y desechos de jardines y parques. Además, se instalan plantas piloto prototipo para demostrar la viabilidad técnica y económica de la tecnología.

### 2.1. Producción de PHA

El PHA es un poliéster termoplástico con propiedades mecánicas similares a las de las poliolefinas convencionales derivadas del petróleo, como el polietileno y el polipropileno, pero con la ventaja de que puede sintetizarse biológicamente a partir de la materia orgánica y es totalmente biodegradable.

Existe una gran variedad de bacterias clasificadas como productoras de PHA que pueden producir este compuesto utilizando diferentes fuentes de carbono. De todos los productos finales de fermentación producidos por los microorganismos existentes, los ácidos grasos volátiles (AGV) suponen los de mayor interés debido a que son precursores metabólicos directos de PHA (Anjum *et al.*, 2016; Giroto *et al.*, 2015). La clave está en encontrar una fuente de carbono eficiente y económica.

En el proyecto RES URBIS se evalúa el uso del residuo orgánico municipal como recurso más económico para la generación de AGVs. Otra manera de reducir costes de producción es obtener los AGV a partir de la fermentación acidogénica de los residuos orgánicos mediante Cultivos Microbianos Mixtos (CMM) (Strazzer *et al.*, 2018). En este caso, la producción de PHA se desarrolla en tres etapas diferenciadas:

- Fermentación acidogénica del sustrato orgánico
- Selección de la biomasa acumuladora de PHA, basada en el principio de hambruna y saciedad
- Acumulación del PHA

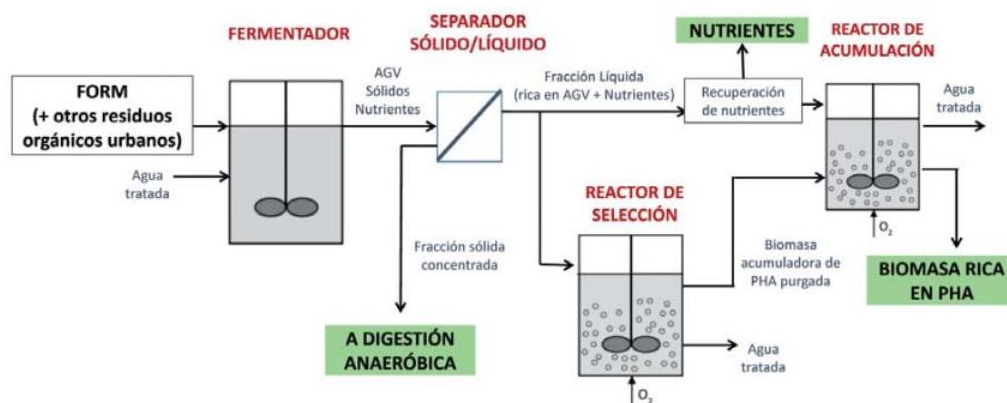


Figura 2. Esquema del proceso estudiado de producción de biomasa enriquecida en PHA | Dosta, J. y Mata, J. (2017)

### 2.1.1. Estudio de la fermentación acidogénica

La fermentación acidogénica es una parte importante del proceso, ya que permite tratar conjuntamente una mezcla de biorresiduo de composición heterogénea y variable.

Para la producción de PHA, el proyecto RES URBIS utiliza como materia prima tanto la FORM como el lodo de las EDARs e, incluso, restos vegetales de parques y jardines municipales. Así pues, se pretende encontrar las condiciones óptimas que permitan tratar estos residuos en conjunto. Los estudios se llevan a cabo en diferentes localizaciones de tal modo que puedan analizarse diferentes composiciones de residuos representativas de cada grupo territorial.

*Tabla 1. Resumen de los estudios relacionados con la fermentación acidogénica de biorresiduos para la producción de PHA, realizados en el proyecto RES URBIS*

Entidad responsable	Tipología de estudio	Materia prima de análisis
University of South Wales	Fermentador de fase ácida de 100L con tecnología electroquímica de separación y concentración	Bioresiduos de alto contenido en sólidos (> 5%) y niveles significantes de biomasa lignocelulósica
Universitat de Barcelona	Planta micro-piloto	FORM – Ecoparques Mezcla: FORM + lodos EDAR
Università Degli Studi di Verona	Análisis a escala de laboratorio (reactores 5L) – un único residuo + su mezcla	Diferentes biorresiduos incluidos residuos del procesado de alimentos
Università Degli Studi di Roma La Sapienza	Estudio del pretratamiento de desechos vegetales  Análisis a escala de laboratorio de la fermentación mediante reactores bioelectroquímicos	Desechos vegetales (parques y jardines)
Institut National de la Recherche Agronomique	Estudio de la extracción de fracciones de lignocelulosa para introducirla en los bioplásticos	Desechos vegetales (parques y jardines)
NOVA ID FCT	Planta micro-piloto	Desechos alimentarios (frutas)

### 2.1.2. Producción de PHA

La producción de PHA se produce en dos plantas piloto. La Universidad de Roma y la Universidad de Venecia lo producen en la planta piloto situada en Treviso (Italia), y NOVA ID FCT (Associação para a Inovação e Desenvolvimento da FCT), en su planta situada en Lisboa (portugal).

Ambos prototipos utilizan un proceso de producción basado en el cultivo microbiano mixto, y tienen capacidad para operar con diferentes rendimientos de AGV, materia prima y condiciones de operación.

Tabla 2. Resumen de las características de las plantas piloto del proyecto RES URBIS para la producción de PHA

Entidad responsable	Características de la planta piloto
NOVA ID FCT (Portugal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de 3 reactores secuenciales de 100L</li> <li>- Uso de estrategias de limitación de oxígeno y control de la alimentación de nutrientes</li> <li>- Existencia de monitoreo online para maximizar el contenido de polímero y ajustar la composición y productividad de PHA</li> </ul>
Università Degli Studi di Roma La Sapienza Università Ca' Foscari, Venezia (Italia)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de 3 reactores secuenciales de entre 200 y 400L</li> <li>- Uso de estrategias de alimentación y recolección optimizada</li> <li>- Uso de metodología de secuenciación y detección in situ para caracterizar la biomasa seleccionada</li> </ul>



Figura 3. Planta piloto NOVA ID FCT en Lisboa, Portugal (izq.) y planta piloto Universidad de Venecia y Universidad de Roma en Treviso, Italia (dcha.)

### 2.1.3. Producción del disolventes de base biológica

Los AGV producidos y analizados en la primera etapa del proceso son testados como disolventes para la extracción del PHA.

La Universidad de Bolonia se encarga de estudiar la extracción en fase líquida de los AGV, obtenidos del efluente acidogénico, utilizando bioetanol. Finalmente, la mezcla de los AGV obtenidos, concentrados y recuperados en una solución etanólica, se convertirán en ésteres etílicos para ser testados en la extracción de PHA.

## 2.2. Extracción PHA

Una vez obtenida la biomasa rica en PHA se debe realizar un proceso de extracción del poliéster. Habitualmente, esta extracción se realiza mediante cloroformo, y posterior precipitación con un alcohol, debido a su simplicidad y efectividad para separar los gránulos de PHA de la biomasa (Dosta y Mata, 2017).

En el proyecto RES URBIS se quiere dar un paso adelante desarrollando un método innovador que permita el uso de etilésteres como agentes extractores del PHA, dada la

dificultad que supondría el uso de cloroformo en escala industrial. Lo que resulta más interesante todavía es obtener estos agentes a partir de biorresiduos, como el bioetanol o los AGV propios de la fermentación de la biomasa utilizada, cerrando todo el proceso en un único ciclo.

En las diferentes plantas piloto de producción del PHA se están utilizando varios métodos de extracción, tanto reactivos inorgánicos como disolventes orgánicos, a fin de determinar el procedimiento óptimo que permita mayor rendimiento de obtención del poliéster. En cualquier caso, todos los métodos testados están libres de cloro.

Nuevamente, la Universidad de Roma La Sapienza está desarrollando un proceso de extracción innovador basado en fluidos supercríticos combinados con coadyuvantes no clorados para obtener un PHA más puro (> 90%). A la vez, investiga a escala laboratorio las condiciones operativas óptimas utilizando un diseño factorial simplificado.

Por otro lado la Universidad de Venecia Ca' Foscari verificará, a escala piloto, las mejores condiciones de operación obtenidas. Esto permitirá definir las características que deberán respetar los disolventes producidos para tener una separación y recuperación eficiente de los polímeros. La capacidad de recuperación de los AGV de las células acumuladas se evaluará directamente utilizando los disolventes de base biológica producidos por la Universidad de Bolonia.

Una vez obtenido el PHA, el objetivo es producir un conjunto de bioplásticos aplicados a diferentes productos:

- Plástico film biodegradable
- Películas intercapa de embalaje
- Bienes duraderos (materiales electrónicos)
- Material de liberación lenta de carbono para la remediación ambiental del subsuelo

### **2.3. Análisis tecno-económico**

Para convertir los biorresiduos urbanos en bioproductos, se deben vincular los diversos sectores industriales, cada uno con sus objetivos de negocio, necesidades y especificaciones propias. También es necesario tener en cuenta que las motrices y limitaciones de la cadena tecnológica dependen, en gran medida, de la casuística propia de cada territorio. Es por eso que las estrategias económicas deben adaptarse a las agrupaciones territoriales.

Tal y como se ha comentado anteriormente, el proyecto RES URBIS contempla cuatro grupos territoriales: el Área Metropolitana de Barcelona; el Área Metropolitana de Lisboa; la Provincia de Trento; y la provincia del Sur de Gales. De cada uno, se ha recopilado y analizado el balance de masas relacionado con la gestión de residuos orgánicos municipales que ejecutan.

El análisis tecno-económico de toda la cadena tecnológica se realizará para todas las agrupaciones territoriales seleccionadas, considerando la implementación del proceso innovador desarrollado en una nueva biorefinería o bien, su integración en plantas de tratamiento de aguas residuales o de digestión anaerobia de residuos urbanos ya existentes.

### 3. PRIMEROS RESULTADOS

Una vez puestas en marcha las plantas piloto de las diferentes etapas de proceso de producción de PHA, se han obtenido los primeros resultados del proyecto RES URBIS.

Por un lado, en la planta piloto de la Universidad de Verona, alimentada por residuos del procesado de alimentos, se ha obtenido un rendimiento máximo de producción de 0.3 g PHA/g AGV después de 24h, y una producción total oscilante entre el 30-40% del peso de la molécula seca (Strazzera *et al.*, 2018).

Actualmente, los dos prototipos para la producción de PHA se encuentran en operación en continuo. Los primeros resultados muestran que, a largo plazo, la producción es factible a escala piloto.

En total, se ha generado un primer lote de PHA (12 kg), que ha permitido validar la extracción de PHA, a partir de la biomasa de estudio, con más del 90% de pureza (RES URBIS, 2018). Cabe destacar que se ha conseguido mantener la coloración blanca del polímero después de su fusión. Con este PHA se han realizado las primeras bobinas de film, probando diferentes características y densidades del material.

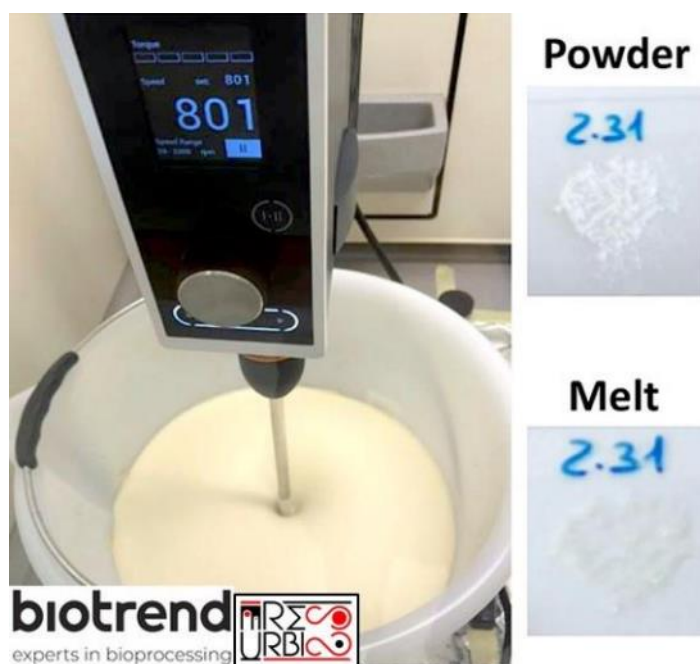


Figura 4. Digestión de la biomasa que contiene PHA y prueba de fusión del producto purificado | Fuente: Biotrend

#### 4. CONCLUSIONES

RES URBIS se encuentra en el punto medio de desarrollo del proyecto. El consorcio está trabajando para encontrar optimar la tecnología de producción de PHA minimizando riesgos.

Por un lado, se ha considerado que la fermentación acidogénica es el proceso óptimo, para tratar conjuntamente las diferentes tipologías de residuos orgánicos municipales, y obtener AGV para la generación de PHA. En el caso de la planta piloto implantada en la Universidad de Verona, se ha obtenido un rendimiento máximo de producción de 0.3 g PHA/g AGV y una producción total del 30-40% del peso de la molécula seca.

Actualmente, existen dos prototipos para la producción de PHA que se encuentran en operación en continuo. Estos utilizan un proceso de producción basado en el cultivo microbiano mixto, y tienen capacidad para operar con diferentes rendimientos de AGV, materia prima y condiciones de operación, demostrando una producción factible a largo plazo.

El proyecto RES URBIS quiere desarrollar un método innovador que permita el uso de etilésteres como agentes extractores del PHA. Por lo que los AGV producidos y analizados durante la fermentación acidogénica son testados como disolventes para la extracción del PHA.

En las otras dos plantas piloto de producción del PHA se están utilizando reactivos inorgánicos y disolventes orgánicos como métodos de extracción, a fin de determinar el procedimiento que permita un mayor rendimiento en la obtención del poliéster. En cualquier caso, todos los métodos testados están libres de cloro.

En el primer lote de PHA generado se ha conseguido una pureza del 90% y una coloración blanca del polímero después de su fusión. Además, se está trabajando en la fabricación y testado de las primeras bobinas de film.

Finalmente, se debe tener en cuenta que obtener bioproductos a partir de residuos orgánicos necesita de la colaboración de varios sectores, pudiendo dificultar la totalidad del proceso debido a los objetivos y necesidades individuales. Otro punto clave es conocer bien las condiciones locales de cada territorio para desarrollar las estrategias económicas óptimas que permitan la implantación de la nueva biorefinería o bien, su integración en plantas de tratamiento de aguas residuales o de digestión anaerobia de residuos urbanos ya existentes.



## AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Europea por financiar el proyecto RES URBIS a través del Programa Horizon 2020, H2020-IND-CE-2016-17. Al Dr. Joan Mata Alvarez y Dr. Joan Dosta Parras de la Universidad de Barcelona, y a Glòria Sánchez Santos del Área Metropolitana de Barcelona, por sus comentarios y correcciones.

## REFERENCIAS

Parlamento Europeo. Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los Residuos. *Diario Oficial de la Unión Europea* L150, 14 de junio de 2018, 109-140.

Arcos-Hernández, M., Montañó-Herrera, L., Murugan Janarthanan, O., Quadri, L., Anterrieu, S., Hjort, M., Alexandersson, T., Karlsson, A., Karabegovic, L., Magnusson, P., Johansson, P., Bengtsson, S., Morgan-Sagastume, F., de Vegt, O., Laycock, B., Pratt, S., Halley, P., Lant, P., and Werker, A. (2015). Value-added bioplastics from services of wastewater treatment. *Water Practice & Technology*, 10 (3), 546-555. DOI: 10.2166/wpt.2015.063. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/281243514\\_Value-added\\_bioplastics\\_from\\_services\\_of\\_wastewater\\_treatment](https://www.researchgate.net/publication/281243514_Value-added_bioplastics_from_services_of_wastewater_treatment)

Comisión Europea. Comunicación COM/2018/028 final, de la Comisión Europea relativa a Una estrategia europea para el plástico en una economía circular. Disponible en: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy.pdf>

Anjum, A., Zuber, M., Zia, K.M., Noreen, A., Anjum, M.N., Tabasum, S. (2016). Microbial production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) and its copolymers: a review of recent advancements. *International Journal Biological Macromolecules*, 89, 161-174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.04.069>

Giroto, F., Alibardi, L., Cossu, R. (2015). Food waste generation and industrial uses: a review. *Waste Management*, 45, 32-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.008>

Strazzer, G., Battista, F., Herrero, N., Frison, N., Bolzonella, D. (2018). Volatile fatty acids production from food wastes for biorefinery platforms: A review. *Journal of Environmental Management*, 226, 278-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.039>

Dosta, J. y Mata, J. (2017). La obtención de bioplásticos a partir de materia orgánica residual y el proyecto RES URBIS. *RETEMA*, 197, 88-93. Disponible en: <https://issuu.com/r.retema/docs/retema197>

RES URBIS (2018). Summary at month 18th. Disponible en: [http://www.resurbis.eu/sites/default/files/Summary\\_for\\_publication\\_month\\_18.pdf](http://www.resurbis.eu/sites/default/files/Summary_for_publication_month_18.pdf)