

## Proyecto LIFE GREEN AMMONIA

Market technology based on  
membranes for the reduction of  
ammonia in livestock farms

---



**Autor Principal:** Pablo Martín Ramos (Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA), Escuela Politécnica Superior, Universidad de Zaragoza, Carretera de Cuarte s/n, 22071 Huesca; ETSIIAA, Universidad de Valladolid (UVa), Avda. de Madrid 44, 34004 Palencia)

**Otros autores:** María Soto-Herranz (ETSIIAA, Universidad de Valladolid (UVa), Avda. de Madrid 44, 34004 Palencia); Mercedes Sánchez Báscones (ETSIIAA, Universidad de Valladolid (UVa), Avda. de Madrid 44, 34004 Palencia); Mari Cruz García González (ETSIIAA, Universidad de Valladolid (UVa), Avda. de Madrid 44, 34004 Palencia); Berta Riaño Irazábal (Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL), Ctra. Burgos km. 119, 47071 Finca Zamadueñas, Valladolid); Beatriz Molinuevo Salces (Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL), Ctra. Burgos km. 119, 47071 Finca Zamadueñas, Valladolid).

## ÍNDICE

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Proyecto LIFE Green Ammonia
5. Bibliografía

## 1. TÍTULO

Proyecto LIFE Green Ammonia: Market technology based on membranes for the reduction of ammonia in livestock farms

## 2. RESUMEN

La Unión Europea, a través de su Directiva 2001/81/CE (Directiva Techos o NECD), ha fijado límites máximos para las emisiones de gases a todos Estados miembros a partir de 2010 con el objetivo de mitigar la contaminación atmosférica. En lo que respecta al amoníaco, ya se han superado los límites impuestos para el año 2020 y la tendencia es a un agravamiento de la situación para el año 2030 en el que, de seguir la tendencia actual, se tiene una previsión de emisión de 393,7 Gg, cuando el límite establecido es de 267,2 Gg. Por otra parte, puesto que el sector agroganadero está directamente relacionado con la emisión de diferentes tipos de gases emitidos a la atmósfera, especialmente el  $\text{NH}_3$ , se hace necesario tomar medidas para cumplir con los compromisos de reducción de emisiones de amoníaco (R.D. 818/2018, de 6 de julio).

El proyecto LIFE GREEN AMMONIA tiene como objetivo reducir las emisiones de amoníaco provenientes de excretas de ganado porcino y avícola mediante la utilización y desarrollo de la tecnología de membranas permeables a los gases (GPMs). Esta tecnología permitirá recuperar el amoníaco existente en fluidos líquidos y gaseosos mediante su paso a través de la membrana y su captura por una disolución ácida que circula por el interior de la membrana. La reacción de dicha solución ácida con el amoníaco da lugar a la formación de una sal fertilizante de origen orgánico (RENURE), muy adecuada para ser aplicada en el abonado de los cultivos en fertirrigación en zonas próximas a su producción, así como para su transformación para ser transportada y comercializada en otros lugares. La finalidad del proyecto es diseñar y construir dos modelos comerciales (uno para capturar el amoníaco de medios líquidos y otro en medios gaseosos) que se instalarán en dos ubicaciones, una explotación porcina en la provincia de Segovia (España) y una explotación avícola en Alenquer (Portugal). Durante su estancia en las citadas granjas, los equipos serán sometidos a las pruebas necesarias para demostrar su viabilidad técnica y comercial. Como objetivo adicional, se pretende obtener el reconocimiento de la tecnología como una mejor técnica disponible (MTD), avalado por los resultados de los ensayos preliminares realizados, por los prototipos ensayados en el proyecto LIFE Ammonia Trapping, y por los resultados que se esperan conseguir en el presente proyecto.

## 3. INTRODUCCIÓN

### 3.1. Problema medioambiental que se persigue solucionar

El amoníaco es un gas que provoca contaminación atmosférica, acidificación y eutrofización del suelo y del agua, y formación de material particulado (PM), dañando la vegetación, la biodiversidad y la salud humana. En 2017, el sector agrícola fue responsable de 3,6 millones de toneladas de emisiones de  $\text{NH}_3$ , lo que representa el 92% del total de la UE. Las emisiones de  $\text{NH}_3$  procedentes de la ganadería representan el 64% de ellas y se producen fundamentalmente por la descomposición del estiércol y por los fertilizantes minerales de N. Por lo que respecta a la ganadería, las emisiones se producen en las naves ganaderas (44%), en los almacenes de estiércol (25%) y en la aplicación al campo (31%). En la zona donde se desarrolla el proyecto, las emisiones de  $\text{NH}_3$  de las explotaciones porcinas y avícolas son de unas 7,4 toneladas/año.

Actualmente, para la recuperación de nitrógeno existen varias tecnologías: 1) ósmosis inversa a alta presión y membranas hidrofílicas; 2)  $\text{NH}_3$  *air-stripping*; 3) adsorción con zeolitas; 4) coprecipitación para formar estruvitas; y 5) membranas permeables al gas (GPMT), desarrolladas por nuestro grupo en el proyecto LIFE Ammonia Trapping (AT), que ha servido de base al nuevo proyecto LIFE Green Ammonia (GA).

La tecnología GPMT presenta diversas ventajas sobre el resto:

- Bajo consumo de energía, del orden de 0,2-1,2 kWh/kg de N recuperado, frente a los 23,6-49,6 kWh/kg de N recuperado consumidos en el proceso de extracción de  $\text{NH}_3$  por arrastre por aire o  $\text{NH}_3$  *stripping* [1].
- Se realiza a presión atmosférica, al contrario de la osmosis inversa.
- No requiere hacer un pretratamiento del material inicial, como en el caso de la coprecipitación para formar estruvitas (en el que hay que añadir Mg y fosfato).
- No precisa añadir ningún reactivo químico que alcalinice el medio, ya que se consigue con una simple agitación.
- No altera el funcionamiento normal de la granja como otras iniciativas.
- Recoge directamente el amoníaco del aire.
- Aparte de disminuir las emisiones, genera un producto fertilizante muy valioso.

En relación con esta última ventaja, es preciso realizar dos puntualizaciones: una, que la tecnología de membranas permeables a los gases, que transforma el  $\text{NH}_3$  en un fertilizante comercializable como es el sulfato amónico (en el caso de que la solución de captura utilizada sea ácido sulfúrico 1N), confiere a este características ecológicas; y dos: si se tiene en cuenta que la producción de fertilizantes minerales consume el 1,2% de la energía total anual del mundo y, en concreto, la producción de  $\text{NH}_3$  consume el 87% de la energía total de la industria de los fertilizantes, emitiéndose 1,5 toneladas de  $\text{CO}_2$ /tonelada de  $\text{NH}_3$  producido, el uso de la tecnología GPMT puede contribuir a la reducción del calentamiento global en un 14% en comparación con la gestión convencional de los purines [2].

En cuanto al fertilizante en sí, el sulfato amónico procedente de síntesis actualmente es la fuente más accesible de nitrógeno de baja concentración, tiene un uso muy generalizado en la agricultura y además es un componente relevante en la producción de fórmulas balanceadas de fertilización. En la agricultura convencional, todavía se sigue utilizando masivamente, especialmente para cultivos menos rentables y como fuente importante de nitrógeno acompañada de azufre, un precursor en su asimilación. Sin embargo, no es un abono ecológico, ya que se obtiene por transformaciones de síntesis y, por tanto, no está recogido en la normativa europea de agricultura ecológica. Por el contrario, el sulfato amónico obtenido como subproducto mediante la tecnología de membranas permeables a gases podría considerarse un producto RENURE (*REcovered Nitrogen from manURE*). A efectos prácticos, esto podría permitir a los agricultores la aplicación de dosis de este producto RENURE por encima del umbral establecido para las zonas vulnerables a los nitratos por la Directiva, ya que es la Comisión está estudiando actualmente las opciones para la aplicación de este criterio dentro del marco jurídico vigente [3].

Cara a la aplicación a campo del sulfato amónico, además de su presentación en polvo o granulado, existen casos en los que el agricultor prefiere trabajar con fórmulas líquidas ya solubilizadas de sulfato de amonio. Una fórmula muy demandada es la que contiene un 8,4% de N p/p y un 24% p/p de azufre (SO<sub>3</sub>) y permite su aplicación por fertirrigación [4]. Durante el proyecto LIFE AT se obtuvo una disolución de sulfato amónico al 3% de N (14% de sulfato amónico y 8,5% de SO<sub>3</sub>), que cumple con los requisitos de la nueva regulación de la UE (Reglamento UE 2019/1009) en el que se la califica como “CFP 1(C)(I)(b)(i): abono orgánico líquido simple a base de macronutrientes” (en el anexo 2 se establecen los contenidos mínimos para estas disoluciones, de 1,5% de N total y 0,75% de S total expresado como SO<sub>3</sub>). No obstante, uno de los objetivos del proyecto LIFE Green Ammonia consiste en concentrar la disolución obtenida desde el 3% de N hasta los niveles demandados por el mercado (8,4% de N).

Otra vía de valorización del producto final está relacionada con el uso del sulfato amónico como componente industrial, empleándose como floculante en la purificación de sustancias ácidas y de proteínas y como aditivo alimentario, entre otras muchas.

En base a los resultados obtenidos en el proyecto LIFE Ammonia Trapping, se ha estimado que LIFE Green Ammonia funcionará con un coste entre 1,78 a 3,73 €/m<sup>3</sup> de purines tratados, en función del coste de la membrana, pero muy por debajo de los costes de otras tecnologías (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Costes estimados para el tratamiento del purín utilizando diversas tecnologías

Tecnología aplicada al purín	Coste (€/m <sup>3</sup> o t de purín tratado)	Referencia
Aplicación directa al suelo	2,5 €/m <sup>3</sup>	Elaboración propia
Digestión anaerobia	7 – 9 €/m <sup>3</sup>	[5]
Ammonia stripping	16,5 €/t	[6]
GPMT (AT) prototipo de líquidos	3,73 <sup>(1)</sup> – 1,78 <sup>(2)</sup> €/ m <sup>3</sup>	Proyecto Life AT
GPMT (AT) prototipo de gases	5,08 <sup>(1)</sup> – 1,91 <sup>(2)</sup> €/ m <sup>3</sup>	Proyecto Life AT

Coste de la membrana <sup>(1)</sup>2,5 €/m y <sup>(2)</sup>0,5€/m

Debido a la elevada incidencia que tiene el precio de la membrana en el coste de equipamiento y mantenimiento del equipo, en el nuevo proyecto LIFE Green Ammonia se va a poner el foco en la optimización de la necesidad de la membrana, siendo uno de los condicionantes de diseño del nuevo modelo comercial.

### 3.2. Descripción de la tecnología de membranas permeables a los gases

En el proyecto AT se ha demostrado, a escala de planta piloto en la granja, que la tecnología GPMT permite capturar con éxito el  $\text{NH}_3$  del estiércol y del aire en los edificios de los animales (TRL 6). De hecho, han sido logrado porcentajes de recuperación medios del 62% del  $\text{NH}_3$  del purín [7] y del 55% en el digestato (purín digerido anaeróbicamente) [8] cuando la membrana se encontraba sumergida y trabajando en la planta piloto, en una granja de cerdos y una planta de biogás, respectivamente. A escala de laboratorio, las recuperaciones de N de la atmósfera, con membrana suspendida, fueron del 73,3% y del 98,4% de N cuando la fuente era purín de cerdo y gallinaza, respectivamente. La captura de N obtenida cuando el prototipo estuvo instalado en la propia granja fue mucho menor debido a la menor concentración de amoníaco en la atmósfera, a causa de la ventilación natural de la nave donde se encontraban los animales. No obstante, cuando la ventilación fue menor en los meses de invierno, la captura de amoníaco aumentó significativamente respecto a los valores obtenidos en los meses de verano [9].

A pesar de los resultados exitosos obtenidos en el proyecto LIFE Ammonia Trapping, que han permitido llegar a un desarrollo TRL6, se ha hecho necesario acceder a la fase de escalado para realizar el diseño y desarrollo de modelos comerciales adaptados a todos los tamaños y a todas las necesidades de las explotaciones. El análisis para superar los hándicaps que limitaban la implementación mercantil de la tecnología en términos de escalado y prestaciones adecuadas ha conducido a un nuevo proyecto continuista que permitirá acceder a modelos más compactos, eficientes y adaptados a las necesidades de las granjas, susceptible de alcanzar el nivel de desarrollo TRL9. Tal propósito constituye el objetivo principal del actual proyecto LIFE Green Ammonia.

## 4. PROYECTO LIFE GREEN AMMONIA

El proyecto LIFE Green Ammonia tiene por objeto reducir las emisiones de amoníaco provenientes de excretas de ganado porcino y avícola. Para ello, se desarrollarán modelos comerciales, basados en la tecnología de membranas permeables a gases, con el fin de recuperar el amoníaco en medios gaseosos y líquidos, a través de una solución ácida que fija el amoníaco y produce una sal fertilizante nitrogenada comercial. La composición de dicha sal dependerá de la disolución ácida utilizada en la captura, pero, en cualquier caso, el producto tendrá un origen orgánico (RENURE) y será apto para ser aplicado en el abonado de los cultivos. Dicho abonado se realizará en zonas próximas a su producción, bien por fertirrigación (mediante su transporte y aplicación con cubas) o mediante su transformación para ser transportado y comercializado en otros lugares. Este fertilizante se someterá a un proceso de certificación.

Una vez diseñados los modelos, se probará su eficacia y viabilidad comercial en dos ubicaciones: una granja de ganado porcino de cebo en Segovia (España) y una explotación avícola en Alenquer (Portugal).

Un objetivo adicional es obtener el reconocimiento de la tecnología como una mejor técnica disponible (MTD), avalado por los resultados de los ensayos preliminares realizados, por los

prototipos ensayados en el proyecto LIFE Ammonia Trapping, y por los resultados que se esperan conseguir en el presente proyecto.

En el proyecto LIFE GREEN AMMONIA (LIFE 20 ENV/ES/000858) participan cinco socios: Fundación General de la Universidad de Valladolid FUNGE, Universidad de Valladolid (UVa), Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL), y las empresas Agro-Porcino Manso SL, Agrocesa y Quinta do Vale Junco Sociedade Agropecuária Lda en Portugal. El proyecto se desarrollará entre los años 2021 y 2025 en tres fases, que reflejan la evolución del nivel de madurez de la tecnología GPM:

- Fase 1. Demostración del sistema acabado en un entorno real (TRL7). Esta fase incluye todas las actividades relativas a la finalización del producto y su validación, ya como un producto acabado, en diferentes granjas.
- Fase 2. Sistema validado y cualificado para operar (TRL8). En este apartado se incluyen todas las actividades que garantizan que LIFE Green Ammonia cumple con las normas estrictas de calidad y que, además, cumple con todas las reglamentaciones y certificaciones para operar en diferentes mercados, principalmente en el mercado de la UE.
- Fase 3. Comercialización en entornos reales (TRL9). Durante esta fase se llevarán a cabo tareas de índole comercial que aseguren una acogida positiva en el mercado.

El proyecto LIFE Green Ammonia contribuye directamente a los objetivos específicos de las áreas prioritarias del subprograma LIFE para el Medio Ambiente (Art. 10 (a)), del reglamento LIFE. Asimismo, contribuye la Directiva 2001/81/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre techos nacionales para la emisión de ciertos contaminantes atmosféricos, donde se señala como prioritario el amoníaco. En el Protocolo de Gotemburgo, el amoníaco es uno de los cuatro contaminantes precursores que producen acidificación, eutrofización y ozono troposférico. De hecho, el NH<sub>3</sub> es una causa de contaminación del aire y puede contribuir potencialmente a la acidificación y eutrofización. Las estrategias desarrolladas hasta ahora para el control de las emisiones de amoníaco no han sido efectivas: no hay más que consultar el cálculo de emisiones de gases del sector ganadero en relación con la directiva IPPC-Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, PRTR- España. La alternativa propuesta en este proyecto, basada en el uso de la tecnología GPM, permite captar el amoníaco producido tanto en la atmósfera de las naves donde se alojan los animales, como en el purín almacenado antes de su uso agrícola.

En relación con las emisiones de gases contaminantes, el proyecto contribuye a la nueva Directiva sobre techos de emisiones nacionales (NEC Directive 2016/2284/EU), así como a la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del consejo, relativa a las emisiones industriales (prevención y control integrado de la contaminación) en la que se establecen medidas para evitar o reducir las emisiones al aire, agua y suelo, procedentes de actividades como la ganadería.

El proyecto también contribuye a las políticas de la UE relacionadas con la protección de las aguas contra la contaminación causada por nitratos utilizados en la agricultura (Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas y Directiva 91/676/CEE, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura) dado que las emisiones de amoníaco se depositan en el suelo y el agua causando problemas de eutrofización y acidificación

de ambos medios. Este problema se intensifica con la aplicación no sostenible de purines y estiércoles al suelo y es cada vez mayor la superficie declarada como zona vulnerable a la contaminación por nitratos. En España, las Comunidades Autónomas han establecido sus propios programas de acción, estableciendo el límite de 170 kg de N por hectárea y año procedente del estiércol, tal como prevé la Directiva. No obstante, algunos programas pueden fijar normas más estrictas en relación con las disposiciones de almacenamiento, fertilización equilibrada y períodos durante los cuales se prohíbe la aplicación de fertilizantes. El ganadero, o el agente que gestione la utilización de las deyecciones ganaderas, deberán tener en cuenta estas características locales para adoptar la decisión más adecuada para su mejor utilización. La principal opción será su uso agronómico, pero en las zonas de elevada densidad ganadera, con muchos excedentes de nutrientes, los agricultores y ganaderos pueden transformar el purín, para facilitar su transporte y gestión. El proyecto LIFE Green Ammonia facilitará esta gestión de las emisiones al disminuir la concentración de amoníaco en el purín.

Teniendo en cuenta que la legislación de la UE es cada vez más restrictiva respecto a la protección medioambiental, resulta imprescindible compatibilizar la creciente actividad ganadera con ella. Aquí es donde el proyecto LIFE Green Ammonia converge con los objetivos medioambientales, las políticas y la legislación de la Unión Europea, ya que, además del control de emisiones a la atmósfera, mejora las condiciones de trabajo, el bienestar animal (Directiva 98/58/CEE) y la eficiencia energética (al requerir menor ventilación de las naves y, por tanto, menor uso de los sistemas de ventilación forzada).

Además, el proyecto LIFE Green Ammonia hace uso del reciclado de residuos y de la Economía Circular, al convertir el amoníaco captado en una sal fertilizante para su aplicación al campo. El Pacto Verde Europeo es un instrumento para dotar a la UE de una economía sostenible. La realización de este objetivo exigirá la transformación de los retos climáticos y medioambientales en oportunidades en todos los ámbitos políticos y que se logre una transición justa e integradora para todos. En el Pacto se establecen una serie de acciones con el objetivo de impulsar un uso eficiente de los recursos mediante el paso a una economía limpia y circular, y restaurar la biodiversidad y reducir la contaminación. El objetivo final es conseguir una UE climáticamente neutra en 2050 y, para ello, pondrá en marcha una serie de iniciativas que protegerán el medio ambiente e impulsarán la economía verde, invirtiendo por ejemplo en tecnologías respetuosas con el medio ambiente, como la que se contempla en el proyecto LIFE Green Ammonia.

Aunque en la actualidad se dispone de un prototipo con tecnología GPM testado en el proyecto LIFE Ammonia Trapping, todavía es necesario realizar actividades que permitan garantizar una llegada adecuada al mercado, garantizando la escala adecuada, la calidad del producto y el cumplimiento de los requisitos exigidos por los usuarios finales de la tecnología. También será necesario garantizar que el producto se pueda desarrollar en unos niveles de coste que permitan precios que aseguren su rentabilidad y el retorno de la inversión. LIFE Green Ammonia da respuesta a ambas cuestiones, ya que demostrará que la tecnología GPM puede operar a nivel industrial a precios muy por debajo de los de las tecnologías actualmente usadas.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Beckinghausen, A.; Odlare, M.; Thorin, E.; Schwede, S. From removal to recovery: an evaluation of nitrogen recovery techniques from wastewater. *Appl. Energy* 2020, 263, 114616
- González-García, I.; Riaño, B.; Molinuevo-Salces, B.; García-González, M.C. energy and nutrients from apple waste using anaerobic digestion and membrane technology. *Membranes* 2022, 12(9), 897
- Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la aplicación de la Directiva 91/676/CEE del Consejo, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura, basado en los informes de los Estados miembros para el período 2016-2019 [https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/informe-2021\\_tcm30-532256.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/informe-2021_tcm30-532256.pdf)
- DF Grupo, 2022. <https://www.dfgrupo.com/sulfato-amonico-uno-de-los-nitrogenados-mas-practicos-de-utilizar/>
- Flotats, X.; Lyngsø Foged, H.; Bonmati Blasi, A.; Palatsi, J.; Magri, A.; Martin Schelde, K. 2011. Manure processing technologies. Technical Report No. II Concerning “Manure Processing Activities in Europe” to the European Commission, Directorate-General Environment.
- De Vrieze, J.; Smet, D.; Klok, J.; Colsen, J.; Angenent, L.T.; Vlaeminck, S.E. Thermophilic sludge digestion improves energy balance and nutrient recovery potential in full-scale municipal wastewater treatment plants. *Bioresource Technology* 2016, 218, 1237-1245.
- Molinuevo Salces, B.; Riaño, B.; Vanotti, M.B.; Hernández González, D.; García-González, M.C. Pilot-scale demonstration of membrane-based nitrogen recovery from swine manure. *Membranes* 2020, 10, 270.
- Riaño, B.; Molinuevo Salces, B.; Vanotti, M.B.; García-González, M.C. Ammonia recovery from digestate using gas-permeable membranes: a pilot-scale study. *Environments* 2021, 8, 133.
- Soto-Herranz, M.; Sánchez-Báscones, M.; Antolín-Rodríguez, J.M.; Martín-Ramos, P. Pilot plant for the capture of ammonia from the atmosphere of pig and poultry farms using gas-permeable membrane technology. *Membranes* 2021, 11, 859.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos LIFE Ammonia Trapping (LIFE15-ENV/ES/000284) “Desarrollo de prototipos de membranas para reducir las emisiones de amoníaco de los estiércoles en granjas avícolas y porcinas” y LIFE Green Ammonia (LIFE20 ENV/ES/000858) Market technology based on membranes for the reduction of ammonia in livestock farms.