

# Gestión y tratamiento de purines

## Sistematizar la toma de decisiones

### De residuo a recurso

*Prof. Xavier Flotats. Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología. Universidad Politécnica de Cataluña – UPC BarcelonaTECH*

### Introducción general

A pesar de que la percepción sobre la importancia de una buena gestión de purines ha mejorado con los años, continua habiendo lagunas sobre el porqué, el cuándo y el cómo de su gestión y eventual tratamiento. El presente curso pretende ofrecer herramientas para la toma de decisiones, con un enfoque de convertir un problema en un recurso. En este primer capítulo se exponen los conceptos básicos y las bases para esta toma de decisiones, en el segundo se describen las tecnologías de tratamiento más usuales y en el tercero se analizan casos prácticos, representativos de los cuatro escenarios en que se clasifica la problemática a resolver.

## 1. Conceptos previos y problemas a resolver

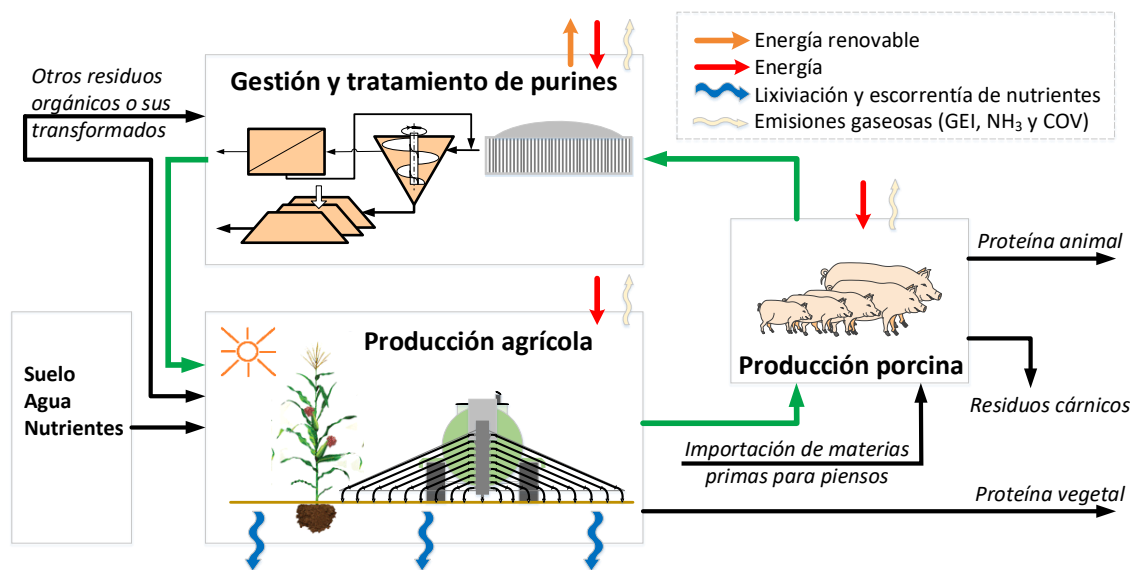
En pocos años se ha pasado de “verter purines” al campo a “fertilizar con purines” en un gran número de explotaciones. Este cambio de nomenclatura es indicativo de una evolución positiva en el sector, en la que además se está aprendiendo que no se ha de abordar la problemática de los purines como algo independiente de la producción animal. La gestión de las deyecciones es una actividad que ha de formar parte íntegra de la producción animal, tan primaria como la alimentación o el control sanitario, y estrechamente relacionada con estos.

En la Figura 1 se muestra un esquema simplificado del contexto en el que se encuentra la gestión de purines, el cual está caracterizado por los siguientes extremos:

- Emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), gases de efecto invernadero (GEI), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), precursor de lluvia ácida, y compuestos orgánicos volátiles (COV), que junto con el amoníaco ocasionan problemas de malos olores. Estos gases se emiten en las balsas de almacenamiento de purines, en procesos de tratamiento, durante su uso agrícola y en la propia nave del ganado, donde ocasionan problemas respiratorios a los animales. Está documentado que retirar los purines de las naves a la mayor brevedad mejora los índices productivos, aumenta el potencial de producción de biogás en caso de plantear un aprovechamiento energético, se reducen las emisiones de gases de

efecto invernadero y también mejora el rendimiento de los sistemas de separación sólido/líquido.

- Ciclo no cerrado para los nutrientes (N, P, K) a pesar de reciclar completamente los purines como fertilizantes. Esto es debido a que el país, al igual que el resto de grandes productores europeos de cerdo, no produce la totalidad de las materias primas para la fabricación del pienso y debe recurrirse a su importación. Esto ocasiona un desequilibrio en el balance de nutrientes, que no se pueden reciclar a su país de origen.
- El ciclo ideal (líneas verdes en Figura 1) se ve modificado por: a) la entrada de nutrientes de las materias primas de importación; b) la entrada de nutrientes a través de todos los residuos orgánicos, originales o tratados, que entran en el sistema para su reciclaje como fertilizantes o enmiendas; c) la entrada mediante los fertilizantes químicos, especialmente los nitrogenados de síntesis y el fósforo, recurso fósil de importación con reservas limitadas; y d) las pérdidas por volatilización ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) o lixiviación ( $\text{NO}_3^-$ ) del nitrógeno, y por escorrentía o erosión de todos los nutrientes. Estas pérdidas se traducen en graves problemas de contaminación de la atmósfera y aguas subterráneas o superficiales.



**Figura 1.** Contexto en el que se encuentra la gestión de purines

Siendo el uso como fertilizante el método de gestión más idóneo, es necesaria la capacidad de almacén necesaria para adecuar la producción continua de purines a la demanda discontinua estacional de los cultivos. Por tanto, este volumen de almacén depende de condiciones locales, aparte que es conveniente que sea cubierto para evitar emisiones de GEI y de amoníaco, y pérdida de capacidad fertilizante. Tanto es así, que en algún país recibe atención la acidificación de los purines en las balsas para reducir las pérdidas de nitrógeno amoniacal y aprovechar todo el potencial fertilizante de este recurso.

Las dietas con el objetivo de mínimas pérdidas de nutrientes hacia los purines, principalmente nitrógeno y fósforo, irán tomando peso en las prácticas de alimentación, a fin que el pienso se transforme principalmente en carne (un ingreso) en lugar de en purines (un coste).

Actuar desde el origen (alimentación animal), pasando por actuaciones de diseño y manejo de las naves, como la retirada automática y diaria de purines para evitar emisiones de gases contaminantes, y tomar decisiones sobre el almacén y eventual tratamiento, con el objetivo final de máximo rendimiento de los purines como fertilizantes, constituye la base del concepto de gestión integral. En el marco de esta gestión integral, debe definirse con precisión el problema a resolver para encontrar la solución adecuada. Esto debe hacerse en el marco de un plan de gestión de nutrientes.

El parámetro básico que se tiene hoy en cuenta es el nitrógeno, porque la normativa española actual hace referencia a él. Pero hay que tener en cuenta también el fósforo, el potasio, la salinidad o los metales pesados, todos ellos con efectos sobre la calidad de las deyecciones, en bruto o tratadas, como fertilizantes o como potenciales contaminantes de los suelos y de las aguas. También hay que tener en cuenta las emisiones de gases de efecto invernadero, amoníaco y compuestos orgánicos volátiles. Previsiblemente la legislación europea lo considerará todo en un futuro, por lo que debe avanzarse en acciones que incluyan todos los parámetros anteriores y perseguir, a la vez, la máxima calidad y valor de los productos obtenidos de los procesos de tratamiento de los purines.

## **2. Plan de gestión de nutrientes**

Un plan de gestión es un programa de actuaciones conducentes a adecuar la producción de deyecciones a la demanda de los suelos agrícolas como productos de calidad. Este conjunto de acciones debe incluir:

- 1) La minimización de componentes limitantes. Por ejemplo, reducción del contenido en agua de las deyecciones mediante la desviación de aguas pluviales o el control de bebederos, la reducción del contenido en metales pesados, nitrógeno o fósforo mediante cambios en la alimentación del ganado, etc.
- 2) El plan de fertilización de los cultivos, con análisis económico de costes de transporte y aplicación, así como la temporalización de las aplicaciones, lo cual permite el cálculo del volumen de las balsas de almacén.
- 3) Y el análisis de posibles tratamientos conducentes a la mejora de la gestión.

Cuando en una determinada zona, por ejemplo áreas de alta densidad ganadera, la cantidad de nutrientes producidos es superior a la demanda de los cultivos, la complejidad del sistema hace necesario un mayor nivel de planificación, lo cual significa un cambio de escala de análisis y de gestión, de individual a colectiva. La diferenciación en la escala de planificación de la gestión es un factor clave para posteriores implantaciones de instalaciones de tratamiento individuales, a

escala de granja, o colectivas, centralizadas. En este sentido, la decisión sobre la escala de tratamiento y su complejidad tecnológica ha de resultar de la planificación de la gestión en lugar de ser un objetivo en sí mismo.

Un plan de gestión se confunde demasiado a menudo con un documento administrativo con fines únicamente burocráticos, sin prestarle la atención que un documento así merece. Debe ser una herramienta importante para el ganadero para definir exactamente cuál es su situación, cuáles son las acciones que debe emprender para mejorarla y, por tanto, cuál debe ser la priorización en la toma de decisiones.

Un tratamiento es un proceso unitario que modifica las características de los purines. Una estrategia de tratamiento es una combinación de procesos con el objetivo de adecuar las deyecciones ganaderas a la demanda como productos de calidad. La demanda corresponde a necesidades de fertilizantes, enmiendas o sustratos, los cuales deben tener una calidad/composición determinada, dependiendo del cultivo o del mercado de los fertilizantes si se pretende producir productos para este. La definición de la estrategia adecuada depende de la problemática que se debe resolver, por lo que no hay soluciones únicas aplicables en cualquier circunstancia.

No hay ninguna estrategia que elimine o haga desaparecer completamente los purines. Los únicos componentes eliminables, mediante su transformación en compuestos gaseosos inoocuos para el medio ambiente, son parte del carbono orgánico y parte del nitrógeno, los cuales pueden pasar finalmente a  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2$ , respectivamente. Todo lo demás sólo se pueden separar o concentrar.

Existen muchos procesos de tratamiento, los cuales se pueden clasificar según diferentes criterios. El hecho que el nitrógeno sea el único elemento fertilizante que pueda recuperarse o eliminarse explica que a menudo se clasifiquen los tratamientos según este objetivo (ver Tabla 1).





Proceso	Objetivo	Comentario
<b>Tratamientos basados en la recuperación o conservación del nitrógeno</b>		
Separación de fases	Separación de deyecciones en una fase líquida y una fase sólida, para favorecer otros tratamientos o para una gestión diferenciada.	Aplicable a deyecciones líquidas (purines).
Digestión anaerobia	Producción de metano (CH <sub>4</sub> ) para su valorización energética.	Presenta otras ventajas, como la reducción de malos olores, la mineralización, la higienización parcial, etc. No afecta a la concentración de nitrógeno total.
<i>Stripping</i> de amoníaco y absorción	Recuperación de nitrógeno en forma de sal amoniacal o aguas amoniacales.	Aplicable a fracciones líquidas. La digestión anaerobia previa favorece el proceso.
Concentración de nutrientes (separación por membrana, evaporación, secado)	Favorecer el transporte de y exportación de nutrientes en forma concentrada	La evaporación o los procesos de membrana se aplican a fracciones líquidas y el secado a concentrados y fracciones sólidas. La digestión anaerobia previa favorece los procesos.
Precipitación de sales de amonio (estruvita)	Recuperación de nitrógeno en forma de sales de fósforo y amonio.	Aplicable a fracciones líquidas. Procesos previos de reducción en el contenido de materia orgánica (digestión anaerobia) favorecen el proceso.
Compostaje	Recuperación de nitrógeno en forma orgánica y estabilización de la materia orgánica.	Aplicable a fracciones sólidas. Deben prevenirse las pérdidas de amonio por volatilización.
<b>Tratamientos basados en la eliminación del nitrógeno</b>		
Nitrificación-desnitrificación (NDN)	Eliminación mediante oxidación del amonio a nitrito/nitrato y posterior reducción a N <sub>2</sub> gas	Aplicable a fracciones líquidas. Se requiere materia orgánica biodegradable para la desnitrificación.
Nitrificación parcial - oxidación anaerobia de amonio (NP - <i>anammox</i> )	Eliminación mediante nitrificación parcial del amonio a nitrito y posterior reducción a N <sub>2</sub> gas	Aplicable a fracciones líquidas. Debe eliminarse la materia orgánica. Menores requerimientos energéticos que el NDN convencional.

**Tabla 1.** Procesos de tratamiento basados en la gestión del nitrógeno

### 3. Clasificación de escenarios

Los factores de diseño del plan de gestión están relacionados con la escala geográfica de análisis. Se pueden considerar varias situaciones dependiendo de la estructura de la propiedad

de granjas y tierras de cultivo, así como su combinación con el balance entre la oferta y la demanda de nutrientes. Estas situaciones llevan a plantear los escenarios indicados en la Tabla 2, que se explican a continuación.

 ↓ Gravedad del problema ↓ 	Situación / escenario	Diagnosis / objetivo	 ↓ Complejidad de la solución ↓ 
	a) Equilibrio en el balance de nutrientes a escala de granja	a) Proceso a nivel de granja con el objetivo de aumentar la capacidad de gestión	
	b) Equilibrio de nutrientes a escala de la zona, agregando una granja y uno o varios agricultores	b) Proceso a nivel de granja con el objetivo de reducir los costes de transporte	
	c) Lo mismo que b) pero con una relación de n granjeros a m agricultores ( $n$ y $m > 1$ )	c) Gestión colectiva, integrando transporte y almacén. Se puede adoptar un tratamiento centralizado o combinado. Los aspectos de gestión son limitantes	
d) Exceso de nutrientes en la zona de análisis, uniendo granjeros y agricultores	d) Gestión colectiva, integrando logística y procesado. Los nutrientes han de ser transportados fuera de la zona. Los aspectos de gestión y tecnológicos son ambos limitantes		

**Tabla 2.** Clasificación general de escenarios y objetivos a cumplir.

- a) Equilibrio de nutrientes a nivel de granja. Este escenario comporta una planificación individual a nivel de granja y hace posible una gestión simple y relativamente barata. La complejidad sólo aparece cuando es interesante producir biogás (altos precios públicos de la energía y/o alta demanda de energía térmica en la granja). En este caso, el factor limitante para la toma de decisión será el beneficio definido por el balance energético. También, una separación sólido/líquido puede mejorar la gestión de los purines. Las instalaciones deben tener un diseño simple y el ganadero debe integrar las operaciones de mantenimiento en sus tareas usuales.
- b) Equilibrio de nutrientes a nivel de zona geográfica (uniendo un granjero y un agricultor). Este escenario lleva a una situación similar al escenario anterior. El transporte puede ser el factor limitante y los procesos de tratamiento se deben modular para minimizar este coste.
- c) Lo mismo que el escenario b) pero combinando muchos granjeros y muchos agricultores. Este escenario requiere de una gestión colectiva que puede comportar un tratamiento centralizado o combinado individual/colectivo (por ejemplo, separación S/L en granja y planta de compostaje colectiva de la fracción sólida), para reducir los costes globales de gestión y transporte. En este caso, el plan de fertilización y su ejecución es el factor limitante, mientras que el tratamiento adoptado lo debe ser en menor medida. Es conveniente, en este

caso, dotarse de sistemas informáticos que ayuden a la logística de transporte de los purines a los cultivos y ayuden al seguimiento de la bondad de las aplicaciones agrícolas (sistemas de información geográfica).

- d) Exceso de nutrientes en la zona geográfica (uniendo muchos ganaderos y agricultores). Cuando el coste de transporte, tratamiento y aplicación agrícola es menor que el tratamiento individual y aplicación agrícola, la aproximación colectiva será la mejor solución. El objetivo de la planificación de la gestión es orientar el plan de fertilización y el establecimiento del procedimiento para transformar el excedente en productos para ser transportados, vendidos o utilizados en otra zona geográfica con demanda en nutrientes. En este escenario, tanto los aspectos organizativos como los tecnológicos son factores limitantes. Los dos se deben diseñar, implementar y operar siguiendo la directriz de mínima complejidad, pero teniendo en cuenta que éste es un proyecto complejo con muchas variables a tener en cuenta.

Tanto en el escenario c) como en el d) es importantísima la coordinación, por lo cual es conveniente constituir una asociación, cooperativa u otra figura jurídica que ayude a establecer responsabilidades en el reparto de tareas y obligaciones económicas.

Para cualquier escenario, el tiempo de almacén de los purines antes de su uso o transformación es un factor clave para el éxito de la solución a adoptar.

## **4. Estrategias de tratamiento en situación de excedente de nutrientes**

La existencia de excedentes, ya sea a nivel de explotación agrícola o de área geográfica, obliga a su transporte a zonas deficitarias, y el coste de transporte suele ser el limitante más importante para la toma de decisiones. Este coste varía en función de la distancia y el volumen transportado, y su incidencia cambia considerablemente en función del valor económico de los nutrientes transportados. Así, la distancia máxima de transporte permisible depende del valor económico de lo que se transporta, y debe evaluarse en cada caso. Mientras que para unos purines diluidos, como los de gestación y primera edad, se puede igualar el coste de transporte con su valor fertilizante para una distancia alrededor de 5-7 km, para unos de engorde esta distancia puede superar los 15 km. Estas distancias pueden aumentar considerablemente si se utiliza un servicio centralizado o colectivo de transporte, ya que permite optimizar la logística, el tiempo de utilización de los equipos y su amortización, siempre cumpliendo las restricciones sanitarias necesarias.

El transporte de purines mediante tubería puede representar una alternativa económica en zonas de alta densidad ganadera o en situaciones de larga distancia entre granja y cultivo, reduciendo el tráfico en carretera, riesgo de accidentes, generación de malos olores, emisiones de CO<sub>2</sub> y resistencias vecinales.

El coste de transporte puede ofrecer un criterio simple para decidir la conveniencia de una tecnología de tratamiento. En este contexto, el tratamiento puede ser atractivo si el coste global de tratamiento, transporte y aplicación agrícola de los efluentes tratados es menor que el del transporte y aplicación directa a cultivos lejanos, a las dosis apropiadas. Por ejemplo, en la zona excedentaria del norte de la comarca de Les Garrigues (Lleida), concluyeron que la concentración mediante evaporación al vacío de purines, con producción previa de biogás, era interesante si el coste de tratamiento era menor que el coste de transporte de purines a distancias superiores a 100 km. En la Tabla 3 se sintetizan estrategias de tratamiento para tres grupos de procesos tecnológicos, en orden creciente de complejidad y coste.

<b>Recuperación de nutrientes con digestión anaerobia</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digestión anaerobia (DA) para producir energía, y exportación de parte del digerido</li> <li>▪ DA combinada con compostaje de fracción sólida del digerido, para exportar el compost</li> <li>▪ DA combinada con <i>stripping</i> y absorción de amonio de la fracción líquida para exportar el amonio (agua amoniacal o sales de amonio)</li> <li>▪ DA combinada con separación por membrana de la fracción líquida, y compostaje de la fracción sólida, para exportar concentrados y compost</li> <li>▪ DA combinada con evaporación, modificación de pH, evaporación y secado, para exportar el producto seco</li> </ul>
<b>Recuperación de nutrientes sin digestión anaerobia</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Separación sólido/líquido (S/L) para exportar la fracción sólida</li> <li>▪ S/L con uso de coagulantes o floculantes para mejorar rendimiento y exportar el sólido</li> <li>▪ S/L combinada con compostaje de la fracción sólida, para reducir volumen, producir compost y exportarlo</li> <li>▪ S/L combinado con separación por membranas de la fracción líquida, para concentrar nutrientes y exportarlos</li> <li>▪ S/L combinada con evaporación para exportar el concentrado</li> </ul>
<b>Eliminación de nitrógeno</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Separación sólido/líquido (S/L) combinada con NDN de la fracción líquida</li> <li>▪ S/L combinada con NDN, con o sin compostaje y exportación de fracción sólida o compost</li> <li>▪ S/L combinada con NDN, exportación de fracción sólida, compostada o no, y separación por membrana de la fracción líquida, con exportación del concentrado</li> <li>▪ Combinaciones anteriores substituyendo NDN por nitrificación parcial y desnitrificación <i>anammox</i>, con eliminación anterior de materia orgánica (aerobia o anaerobia)</li> </ul>

**Tabla 3.** Estrategias de tratamiento en situación de excedentes, según si se recupera el nitrógeno (con o sin digestión anaerobia) o se elimina, en orden creciente de coste y complejidad para cada grupo de estrategias.



## 5. Capacidad de almacén de purines

La balsa de purines es una herramienta fundamental para regular el balance entre su producción continua y la aplicación estacional a los cultivos como fertilizantes. Para calcular el tiempo mínimo de almacenaje, o la capacidad mínima necesaria, debe disponerse del plan de fertilización, esto es, la planificación de las dosis y momento del año en que se producirán las salidas de la balsa. Si se utiliza el nitrógeno como criterio para planificar la fertilización, será conveniente determinar la capacidad mínima de almacén utilizando unidades de nitrógeno, como en el ejemplo siguiente de la Tabla 4.

	A	B	C	D	E=C-D	F
	N generado en los purines/mes	Salidas a cultivos y otros	Entradas acumuladas	Salidas acumuladas	Diferencia (C-D)	E + mín(E)
Enero	4.714		4.714	0	4.714	16.847
Febrero	4.258	10.586	8.971	10.586	-1.615	10.518
Marzo	4.714	15.232	13.685	25.818	-12.133	0
Abril	4.562	1.932	18.247	27.750	-9.503	2.629
Mayo	4.714		22.960	27.750	-4.790	7.343
Junio	4.562		27.522	27.750	-228	11.905
Julio	4.714		32.236	27.750	4.486	16.618
Agosto	4.714		36.949	27.750	9.199	21.332
Septiembre	4.562	8.085	41.511	35.835	5.676	17.809
Octubre	4.714	12.155	46.225	47.991	-1.766	10.367
Noviembre	4.562	7.510	50.786	55.500	-4.714	7.419
Diciembre	4.714		55.500	55.500	0	12.133
Suma	55.500	55.500		Mínimo (E)=	-12.133	

Tiempo de retención = Capacidad en el momento de máxima acumulación (21.332 kg N en agosto) x 12 (meses/año) / Flujo anual de N (55.500 kg N/año) = **4,6 meses**

**Tabla 4.** Método de cálculo del tiempo mínimo de retención de balsas de almacén de purines.

Se supone una explotación que produce 15.000 m<sup>3</sup>/año de purines, con un contenido medio de 3,7 kg N/m<sup>3</sup> y una producción diaria constante. Se rellena la columna A de entradas a la balsa con el contenido mensual en masa de N (kg N/mes) y la columna B con las salidas a fertilización, ya sea de cultivos propios o ajenos, con la masa mensual de N que sale de la balsa. La suma total de N generado a lo largo del año (entradas) ha de coincidir con la suma total de las salidas (55.000 kg N/año en este ejemplo). En caso que las salidas sean inferiores se estaría en situación de excedentes, los cuales también deberán salir del sistema, ya sea mediante eliminación biológica de N o mediante recuperación y exportación; en todo caso, estas también serán salidas y deben añadirse a la columna B en el momento que se producen.

En la columna C y D se anotan las sumas acumuladas mes a mes de entradas y salidas, respectivamente, debiendo coincidir las sumas acumuladas en diciembre con la suma total de A y de B. La columna E es la diferencia mes a mes entre entradas y salidas acumuladas (C-D). En

la columna F se suma a los valores de la columna E el valor absoluto del mínimo de E (12.133 kg N). Los valores mensuales de la columna F indican el nivel de llenado mensual de la balsa, quedando vacía en el mes de marzo y completamente llena en el mes de agosto, en este caso, siendo el valor de este mes la referencia de la capacidad mínima (21.332 kg N). Dividiendo esta capacidad por el flujo anual de N se obtiene el tiempo mínimo de retención de la balsa (4,6 meses), que equivale a  $15.000 \text{ m}^3/\text{año} \times (4,6/12) = 5.750 \text{ m}^3$ .

Evitar que aguas pluviales se acumulen en la balsa, o evitar pérdidas de agua en bebederos o minimizar el consumo de agua para limpieza tiene un efecto positivo en la minimización del volumen de almacén de purines y en su coste de transporte. Las regulaciones del sector porcino y los planes de acción en zonas vulnerables a la contaminación por nitratos indican los tiempos mínimos de retención de obligado cumplimiento, siendo necesario un valor mayor si es el calculado atendiendo a las necesidades temporales específicas de fertilización, como en el ejemplo anterior. No debe olvidarse la necesidad de asegurar la impermeabilización de las balsas y la limpieza periódica para evitar acumulación de arenas, que reducen la capacidad útil, así como la recomendación de cubrir para evitar la entrada de aguas de lluvia y minimizar las emisiones de gases GEI y  $\text{NH}_3$  y, por tanto, pérdida de valor fertilizante (ver Figura 2).



**Figura 2.** Balsa de purines cubierta en una granja de Dinamarca (2001). Foto del autor.

## 6. Diagrama de toma de decisiones

La pregunta usual que un ganadero se plantea es cuál es la instalación idónea de tratamiento para su granja. Esta pregunta no tiene respuesta sin un análisis previo de la situación o escenario

en el que se clasifica la granja; en definitiva, debe determinarse primero cuál es el problema a resolver y las condiciones de contorno para ello, aparte de adoptar dietas y sistemas de alimentación y manejo que permitan la mínima pérdida de nutrientes y agua a través de los purines. A menudo la solución no es una planta de tratamiento, sino un cambio en el modelo de gestión.

La algorítmica o sucesión ordenada de toma de decisiones que se presenta a continuación se basa en la Guía de los Tratamientos de las Deyecciones Ganaderas, de diciembre de 2004, con algunas pequeñas variaciones de simplificación. El diagrama de toma de decisiones se divide en tres ámbitos: 1) Valoración inicial y definición del contexto (Figura 3); 2) Situación de no excedentes (Figura 4); y 3) Situación de excedentes (Figura 5).

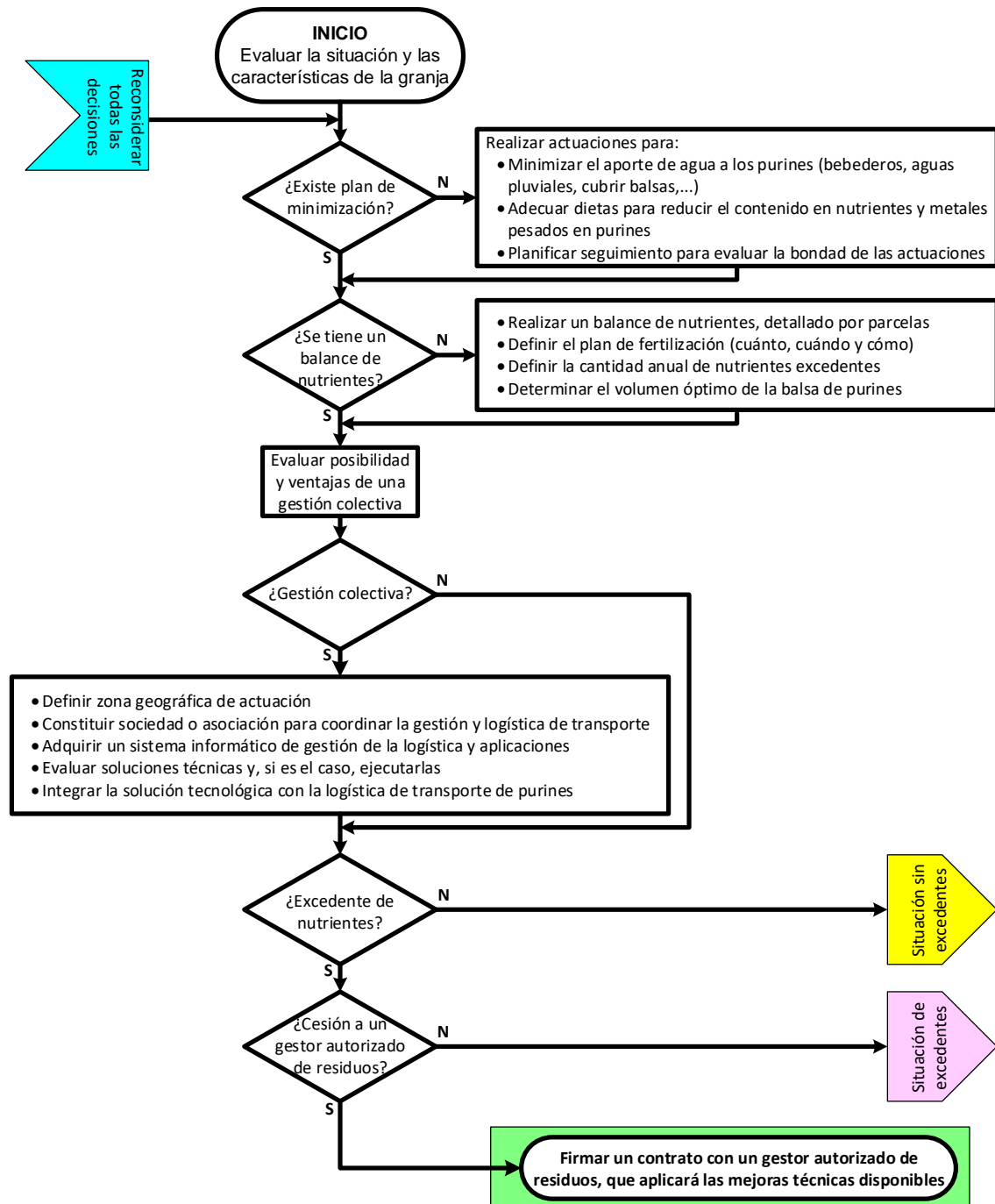
En la Figura 3 se adoptan como acciones base para tomar decisiones posteriores la realización de: 1) un plan de minimización de caudales (reducir el volumen de agua que llega a las balsas) y cargas (reducir la cantidad de nitrógeno, fósforo y metales en la alimentación), y 2) un balance de nutrientes, entre los producidos en la granja y las necesidades de los cultivos. Estas dos acciones deben dar respuesta a la pregunta de si se está en una situación de equilibrio o en una de excedentes de nutrientes. En cualquiera de las dos situaciones se plantea la conveniencia de una gestión individual o colectiva de los purines, a la que el ganadero debe dar respuesta.

En caso de que no haya excedente en nutrientes (Figura 4), ya sea con gestión individual o colectiva, la solución tecnológica debe poder mejorar la gestión de las deyecciones para reducir los costes de transporte y aplicación.

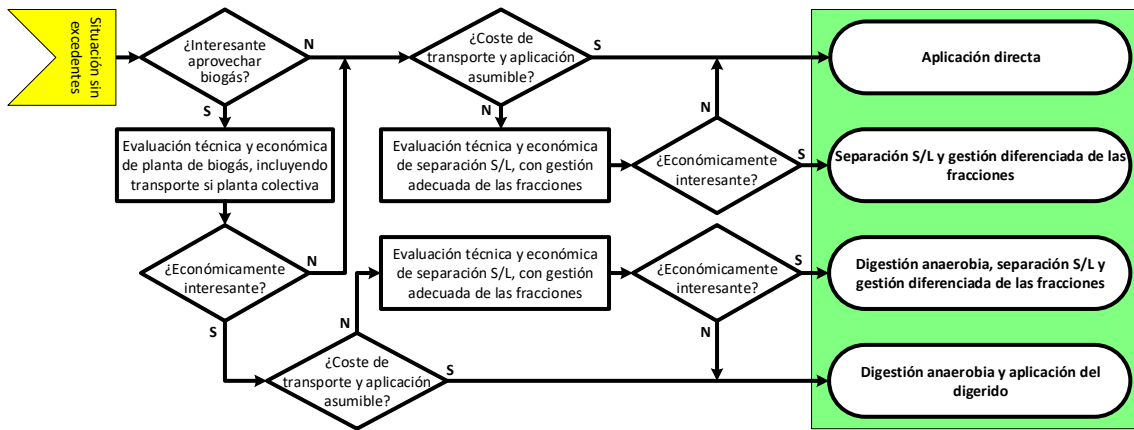
En caso de excedente de nutrientes (Figura 5), se propone valorar inicialmente el coste de transportar y aplicar los purines brutos a largas distancias, a zonas geográficas con demanda de nutrientes. Este coste es el valor de referencia para valorar soluciones técnicas más complejas: una estrategia será interesante si presenta un coste global inferior. Las posibles estrategias tecnológicas se agrupan en tres grandes grupos, por orden de prioridad: 1) Las soluciones que adoptan la digestión anaerobia y el aprovechamiento energético del biogás; 2) las soluciones que se basan en el tratamiento físico-químico, por el que los nutrientes se recuperan en forma de sólidos o concentrados, y 3) las soluciones que adoptan el proceso de nitrificación-desnitrificación, por el que parte del nitrógeno se elimina. Dentro de cada grupo deben valorarse opciones por orden creciente de complejidad (Tabla 3). Si las más simples no son económicamente asumibles, no es necesario pasar a las más complejas dentro de cada grupo, porque todavía serán más caras. En todos los casos, la transformación o procesado de los purines implica obtener productos de calidad con valor en el mercado. Se prevé que los paquetes legislativos de la Unión Europea para promover la economía circular, que incluyen normativa sobre la producción de fertilizantes a partir de residuos, favorecerán la creación de este mercado para los productos obtenidos de los purines.

En caso de que no se pueda asumir el coste económico de ninguna opción técnica en la Figura 5, o bien ninguna aporte solución, el diagrama propone replantear el problema y volver al inicio del proceso de decisión (Figura 3). Este replanteamiento puede significar enfrentarse al plan de

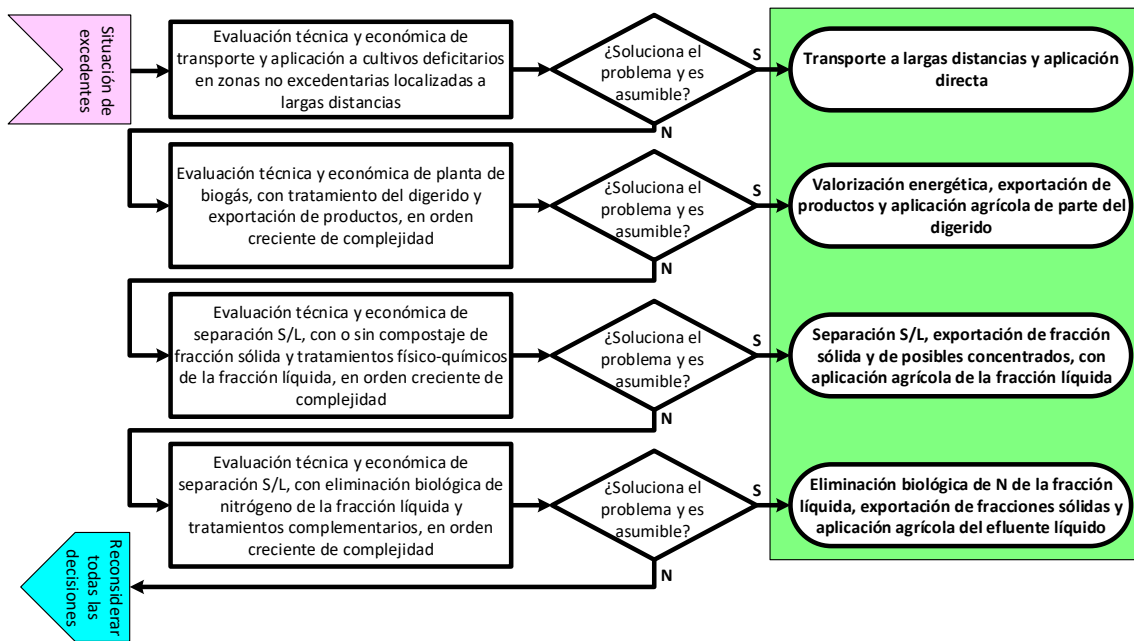
minimización con una visión diferente, pasar de una gestión individual a una de colectiva si esta gestión aporta mejoras en las soluciones (economía de escala) o, posiblemente, transferir total o parcialmente las deyecciones a un gestor autorizado que ofrezca unas condiciones económicas asumibles.



**Figura 3.** Diagrama inicial de decisiones a tomar sobre la gestión de purines



**Figura 4.** Diagrama de decisiones en caso de situación de no excedente de nutrientes, ya sea a nivel de explotación o a nivel colectivo.



**Figura 5.** Diagrama de decisiones en caso de situación de excedente de nutrientes. La evaluación de alternativas para cada grupo de estrategias, con grado creciente de complejidad, sigue el orden indicado en la Tabla 3.