

CONCENTRACIÓN DE DEYECCIONES GANADERAS MEDIANTE PROCESOS TÉRMICOS

X. Flotats, E. Campos y J. Palatsi

Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Centro UdL-IRTA, Universidad de Lleida.
Rovira Roure 191, E-25198 Lleida (xavier.flotats@irta.es)

RESUMEN

En zonas donde la producción de deyecciones ganaderas es superior a las necesidades de los cultivos hay tres vías de posibles de solución: 1) Reducir la cabaña ganadera; 2) Eliminar o separar los nutrientes excedentarios; 3) Reducir el volumen de las deyecciones excedentarias, sin pérdida de nutrientes, para favorecer su transporte a zonas deficitarias. Una opción para la reducción de volumen de las deyecciones es la concentración térmica (combinación de evaporación y secado). En España se inició el desarrollo e implantación de instalaciones centralizadas de concentración térmica a raíz de la promulgación del Real Decreto 2818/98 de 23 de diciembre *sobre producción especial de energía eléctrica, residuos y cogeneración*, por el cual se establecían primas a la producción eléctrica mediante cogeneración si la energía térmica se utilizaba para la reducción del volumen de purines (grupo d.1). Existen diversas tecnologías de concentración, tanto a nivel español como europeo, las cuales se pueden clasificar en función del origen de la energía utilizada y en función de la estrategia de tratamiento adoptada. En la presente comunicación se presenta una revisión del estado del arte de estas tecnologías de reducción de volumen de las deyecciones mediante procesos térmicos.

INTRODUCCIÓN

No existe una solución única y universal al tratamiento de deyecciones ganaderas que asegure la “eliminación” del problema. La solución es una combinación de gestión y tecnología, adaptada a cada realidad, y siempre con el objetivo, u objetivos, que se definan en cada zona en función del balance de nutrientes realizado en ésta. La herramienta básica de toma de decisiones, y de ordenación de las actuaciones, ha de ser el plan de gestión, individual o colectivo, de las deyecciones y otros residuos orgánicos en el área geográfica objeto del plan.

Un plan de gestión de residuos es un programa, individual o colectivo, de actuaciones que conduzcan a adecuar la producción de deyecciones a las necesidades de los cultivos, en el espacio y en el tiempo. A ser posible, un plan de gestión ha de incluir todos los residuos orgánicos, producidos en la zona geográfica objeto de estudio, susceptibles de ser aplicados, también, a suelos y cultivos, a fin de pasar de situaciones de competencia a situaciones de complementariedad y de aprovechamiento de sinergias. Un plan de gestión ha de contemplar actuaciones en los tres ámbitos que se indican, por orden de prioridad:

1. Plan de minimización en la producción en origen, tanto de caudales como de componentes limitantes (N, P, metales pesados). Este plan es especialmente importante para deyecciones líquidas, como los purines de cerdo, para las cuales el volumen incidirá negativamente en los costes de transporte.
2. Plan de fertilización en base a los nutrientes contenidos en las deyecciones y otros residuos, y en base a las necesidades de los cultivos y características del sistema agrario considerado.
3. Definición de las posibles alternativas tecnológicas a aplicar; para eliminar o recuperar nutrientes, para reducir costes de transporte, para mejorar la calidad agronómica del residuo, para producir energía o, en general, para aumentar la capacidad de gestión.

Para la definición de las alternativas y asegurar que el plan de fertilización se puede cumplir, el estudio base del plan de gestión se ha de complementar con:

- Cálculo de la capacidad de almacenaje (balsas y estercoleros) para equilibrar la producción con la demanda temporal de los cultivos. La capacidad adecuada puede constituir un limitante económico para cada granja y puede ser recomendable un almacenaje colectivo para reducir costes.
- Análisis territorial de la distribución de granjas y de otros residuos orgánicos, a fin de definir zonas donde sea posible y/o recomendable un tratamiento colectivo, reduciendo así los costes asociados al transporte. Un método de análisis aplicado a la comarca de Les Garrigues (Lleida) puede encontrarse en Teira y Flotats (2003).
- Análisis de restricciones a las aplicaciones en la zona geográfica objeto de estudio, tales como normativas municipales o de rango superior.

El primer objetivo a cumplir en un plan de gestión de deyecciones ganaderas es su valorización como fertilizante o enmienda orgánica. Este objetivo presenta restricciones en zonas excedentarias en la producción de nutrientes, esto es, zonas en las que la producción excede a las necesidades de los cultivos de esta zona. En esta situación caben 3 opciones:

- Reducir la cabaña ganadera,
- Eliminar o separar los nutrientes excedentarios,
- Reducir el volumen de las deyecciones excedentarias, sin pérdida de nutrientes, para favorecer su transporte a zonas deficitarias.

La primera opción tiene repercusiones socioeconómicas para la zona geográfica considerada, y ha sido una de las actuaciones emprendidas por países como Holanda. La segunda opción corresponde a los sistemas de depuración, para los cuales es necesario considerar que sólo son “eliminables” en parte la materia orgánica (por vía aerobia o anaerobia) y el nitrógeno (mediante nitrificación-desnitrificación). Si también se producen excedentes en fósforo, será necesario concentrar éste para ser transportado a zonas con demanda. La tercera opción, complementable con la segunda, corresponde a los sistemas de concentración de la fracción sólida, mediante separación física o concentración térmica, para favorecer económicamente el transporte y uso en zonas con demanda de fertilizantes.

El consumo total de fertilizantes minerales en España es de 1.026.546 Tm N (MAPA, 2002). Desde el año 1986 se ha observado un incremento en el consumo de los mismos del 15,4%. El aumento del consumo de fertilizantes nitrogenados no se ha visto acompañado de un incremento de producción de los mismos, por lo que las importaciones brutas de fertilizantes han aumentado un 142% en el mismo período. El gasto total en fertilizantes asciende a 1.088 M€ (datos de 2002), incluyendo nitrogenados, fosfatados, potásicos, complejos y enmiendas. Por otro lado, la producción de nitrógeno a partir de residuos ganaderos se puede estimar a partir de datos de producción de residuos (MAPA, 2002), y de la composición media de los mismos (Tabla 1). La producción de purines de origen porcino el año 2001 fue de 24,1 MTm, y la producción total de estiércol fue de 87,4 MTm (Tabla 1). Considerando el contenido medio de cada tipo de estiércol (Teira y Flotats, 2003), la producción de nitrógeno total a partir de las deyecciones animales asciende a 718.306 Tm N para el año 2001, es decir, del orden de un 41,2% del consumo total de nitrógeno (mineral + procedente de deyecciones) en el territorio español.

La producción de nitrógeno de origen ganadero podría sustituir una parte del nitrógeno mineral que se consume, y se importa. El principal problema para ello radica en la producción localizada en determinadas áreas geográficas de los mismos, junto con las dificultades de manejo y costes de transporte y aplicación. Para conseguir una substitución efectiva de fertilizantes químicos, y una redistribución geográfica de los nutrientes excedentes, estos han de ser mineralizados y concentrados, para facilitar el manejo y reducir costes de transporte.

Tabla 1. Producción de estiércol de diversos tipos a escala nacional de 1985 a 2001. Equivalencias de producción de nitrógeno

Años	Estiércol (miles de toneladas)							Total
	Bovino	Ovino	Caprino	Porcino	Equino	Aves	Conejos	
Contenido de N (según Teira y Flotats, 2003)								
Kg N/Tm	9.35	10.00	9.00	5.55	5.80	8.34	14.33	
1985	33 244	8 811	1 306	13 209	2 467	3 291	502	62 830
1990	36 885	11 647	1 878	18 513	2 564	4 072	424	75 983
1995	34 874	12 978	1 497	21 489	2 806	5 569	549	79 762
2000	37 185	11 080	1 328	25 652	2 555	6 429	469	84 697
2001	39 397	12 101	1 283	24 100	2 601	7 472	439	87 393
Tm N (1985)	310 758	88 110	11 754	73 315	14 309	27 455	7 195	532 896
Tm N (2001)	368 276	121 011	11 550	133 761	15 087	62 333	6 289	718 306

El proceso de concentración puede realizarse mediante dos métodos genéricos: mediante separación en membrana o mediante procesos térmicos. La separación en membrana, mediante osmosis inversa sólo es aplicable a la fracción líquida previamente separada mediante tamizado, filtración o ultrafiltración, y con costes de mantenimiento y de operación prohibitivos, siendo los costes energéticos elevados (>25 kW·h/m³). Según Burton y Turner (2003), el uso de tecnologías de membranas es posible, siempre y cuando se haya estabilizado previamente la materia orgánica y los sólidos hayan sido eliminados mediante un efectivo proceso de separación. Puede ser necesaria la acidificación previa del purín, para retener el nitrógeno amoniacal. Sobre la base de 500 animales, los costes de un proceso de sedimentación+ósmosis inversa son del orden de 15 €/m³ (Burton y Turner, 2003).

Los procesos térmicos unitarios aplicados a la concentración son, de forma genérica, la evaporación (aplicable a líquidos para concentrar hasta el 20 – 30% en sólidos totales) y el secado (aplicable a sólidos para concentrar hasta más del 90% en sólidos totales). Como se verá más adelante, los procesos térmicos han de complementarse con otros para evitar el deterioro del material, la volatilización de compuestos orgánicos y amoníaco y, en general, para conseguir la recuperación de recursos con el mínimo impacto ambiental.

En función del grado de reducción de volumen deseado para residuos de consistencia sólida, de ganado bovino o avícola, puede considerarse también el proceso de *biodrying* o compostaje, en que parte de la energía disipada por el proceso aerobio exotérmico se utiliza para cubrir la demanda de calor latente de evaporación del agua. El diseño de una instalación de *biodrying* no es simple, deben cumplirse condiciones de porosidad, aireación y de una relación C/N muy estrictas, y debe profundizarse en la interrelación entre metabolismo de los microorganismos implicados y los fenómenos de transferencia de materia y energía involucrados (Haug, 1993). Trabajos de optimización con el objetivo del secado mediante compostaje forman parte de líneas de investigación actuales (Choi et al., 2001), a pesar que se conocen algunas experiencias infructuosas a escala industrial a principios de la década de 1980 en España, para el tratamiento de gallinaza avícola.

El objetivo de la presente comunicación es la revisión de las tecnologías aplicadas a la reducción de volumen de las deyecciones ganaderas mediante procesos térmicos.

ANTECEDENTES

Se encuentran publicaciones sobre la aplicación del proceso de evaporación a residuos orgánicos líquidos a partir de la década de 1990. Vitolo et al. (1999) estudiaron la aplicación de la evaporación a la concentración de aguas de vegetación procedentes de la producción de aceite de oliva; Nilsson y Strand (1994) estudiaron la combinación de la digestión anaerobia y la evaporación a la concentración de aguas residuales procedentes de la producción de pulpa de madera y McKeough y Fagernäs (1999) su aplicación

a aguas residuales de industria papelera. La aplicación de la concentración mediante evaporación de lixiviados de vertedero ha recibido una atención especial (Marks et al., 1994; Birchler et al., 1994), centrandose en las condiciones que permiten la obtención de condensados aptos para su vertido a cauce. Las condiciones dependen de la composición del residuo a tratar y del pH a mantener durante el proceso.

La primera referencia de la aplicación del proceso de evaporación al tratamiento de purines de cerdo se debe a Rulkens y ten Have (1994). En ésta se describen los procesos PROMEST y MAMON, correspondientes respectivamente a una planta industrial de 600.000 Tm/año y una planta piloto de 3.000 Tm/año de capacidad, localizadas en Holanda. La planta PROMEST fue una inversión gubernamental y operó durante 2 años (1993-1995), siendo los motivos para su baja los altos costes de operación, la falta de una buena base organizativa y financiera, así como la falta de una red bien establecida para la distribución y comercialización en el mercado de los productos obtenidos (Rulkens et al., 1998; Wossink y Benson, 1999).

Bonmatí y Flotats (2003¹) estudiaron la combinación de la digestión anaerobia y la evaporación al vacío aplicado a purines de cerdo, mediante experimentos en discontinuo y en continuo, haciendo notar que los compuestos volátiles con concentraciones más elevadas en los purines son el amoníaco (fracción no ionizada del nitrógeno amoniacal $N-NH_4^+$) y los ácidos grasos volátiles no ionizados. Ajustando el pH, estos compuestos pueden pasar a sus formas no volátiles (Figura 1). Se requiere un pH menor de 6 para asegurar la mínima volatilización del amonio, mientras que reduciendo el pH se incrementa la fracción volatilizable de los ácidos grasos. Marks et al. (1994) ya hicieron notar que a pH 4, el 1% de $N-NH_4^+$ y el 75% del ácido acético se transfiere al condensado, mientras que a pH 10, el 93% del amonio y el 1% del acético pasa al condensado. Se comprueba, pues, que no es posible evitar la volatilización de los dos compuestos simultáneamente ajustando el pH a un único valor. Es necesario aplicar una evaporación en dos etapas, con diferentes pH, o bien eliminar uno de estos dos compuestos previamente al proceso de evaporación. El proceso de tratamiento de la materia orgánica o el amonio, previamente a la evaporación, caracteriza a cada tecnología desarrollada para la concentración térmica de las deyecciones ganaderas.

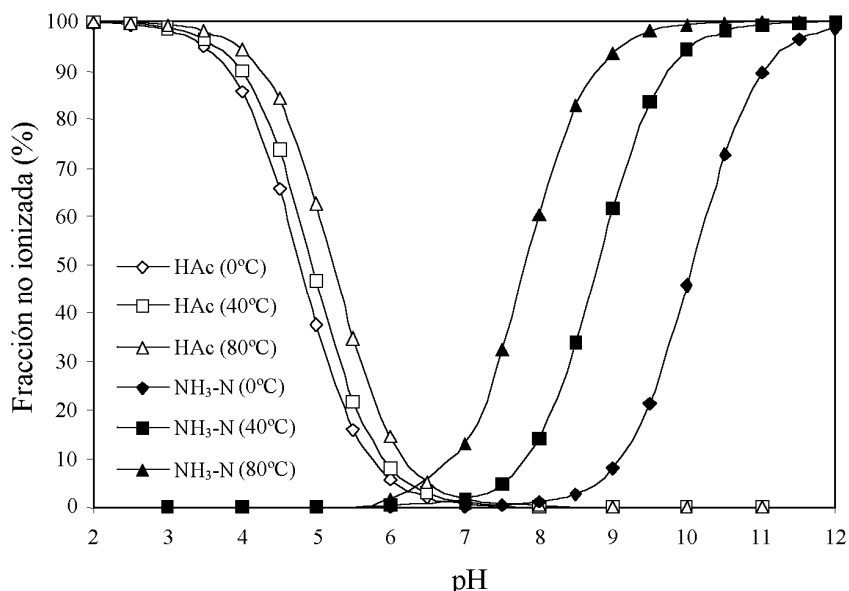


Figura 1.- Fracción no ionizada (volatilizable) de nitrógeno amoniacal y ácido acético, en función del pH a diferentes temperaturas. Datos de Perry (1992) y Lide (1993). Fuente: Bonmatí y Flotats (2003¹)

Uno de los limitantes de los evaporadores es que sólo operan con fluidos, lo cual constituye una limitación a la concentración máxima de sólidos que se puede conseguir. Los purines no pueden transformarse mediante evaporación en un producto seco, y es necesario complementar con un proceso de secado posterior. El agua se encuentra en cuatro estados: libre entre poros, agua capilar libre, agua ligada

y agua constituyente de los compuestos (Grüter et al., 1990; Lowe, 1995). El agua libre se define como el agua eliminada durante el periodo inicial en que la tasa de evaporación es constante. La concentración final de sólidos totales obtenida eliminando este agua varía de un residuo a otro, y se estima entre 200 y 250 g ST/kg para residuos ganaderos (Have y Chippini, 1993). Procesos, aerobios o anaerobios, que permitan una destrucción de materia orgánica, y por tanto el paso de agua ligada a libre, redundarán en una mayor eficiencia de los procesos de deshidratación. En el estudio de Bonmatí y Flotats (2003¹), se comprobó que la eliminación de materia orgánica mediante un proceso previo de digestión anaerobia, y un ajuste a pH ácido de la fracción líquida del digerido, permitía una reducción de los requerimientos de ácido para reducir el pH y una reducción muy significativa de la contaminación de los condensados de la evaporación, obteniendo parte de la energía (biogás) para cubrir la demanda térmica y redundado en unos menores costes de tratamiento (de operación y financieros), comparado con otras opciones de evaporación (Bonmatí et al., 2003). El aporte energético de la digestión anaerobia puede incrementarse mediante la codigestión de las deyecciones ganaderas con otros residuos orgánicos, favoreciendo además la gestión integrada de residuos en la zona de influencia de la planta.

Posibles usos, para el propio tratamiento de purines, de la energía térmica excedentaria de un proceso de cogeneración a partir del biogás producido por digestión anaerobia, fueron estudiados por Bonmatí (2001). A parte del estudio sobre los beneficios de la digestión anaerobia para el proceso de evaporación, también estudió la integración de la digestión anaerobia y el stripping de amoníaco, comprobando que es posible este último proceso sin modificación de pH y a 80°C, obteniendo sales de amonio con muy baja contaminación por compuestos orgánicos (Bonmatí y Flotats, 2003²). También estudió el efecto del pretratamiento térmico para incrementar el potencial de producción de biogás (Bonmatí et al., 2001). Los usos económicamente interesantes de la energía térmica son un limitante importante para la implantación de sistemas de digestión anaerobia en el sector ganadero en países como España, donde la demanda de calefacción para naves de ganado es relativamente baja y no existen infraestructuras de *district heating* como en países nórdicos (Bonmatí, 2001).

A pesar que las publicaciones científicas en este ámbito son limitadas y relativamente recientes, se conocen experiencias comerciales de secado térmico de residuos ganaderos desde principios de los años 80. El primer autor tuvo la oportunidad de visitar en 1982 en el sur de Francia (sociedad MIDA-TRA) una instalación de secado y granulación de estiércol de bovino digerido por vía anaerobia, utilizando como fuente de energía el biogás producido mediante 4 reactores discontinuos.

LA CONCENTRACIÓN TÉRMICA EN ESPAÑA

En España se inicia el desarrollo e implantación de instalaciones centralizadas de concentración térmica a raíz de la promulgación del Real Decreto 2818/98 de 23 de diciembre *sobre producción especial de energía eléctrica, residuos y cogeneración*, por el cual se establecían primas a la producción eléctrica mediante cogeneración si la energía térmica se utilizaba para la reducción del volumen de purines (d.1), de lodos de depuración (d.2) o de otros residuos orgánicos (d.3). Estas primas pueden considerarse una subvención indirecta por reducción de emisiones de CO₂, recuperación de nutrientes y ahorro energético, en contraste al alto consumo energético para el transporte de los residuos en bruto a largas distancias para la redistribución de nutrientes. También se promueven con estas primas la modernización de la red eléctrica en zonas rurales, la producción de energía distribuida y los sistemas de alta eficiencia energética (cogeneración). En algunas zonas ha supuesto el mantenimiento de la actividad ganadera y la posibilidad de industrialización, con beneficios económicos y sociales de difícil cuantificación.

Los inicios de la aplicación del Real Decreto supusieron un cierto grado de implantación sin control, la aparición de algunas prácticas especulativas y se encontró a faltar una reglamentación adecuada por parte de la administración, entrando en el mercado empresas del ámbito energético sin ningún tipo de experiencia en el tratamiento de un residuo orgánico tan complejo como son los purines. En noviembre del año 2000, 5 empresas constituyeron la asociación ADAP (Asociación para el Desimpacto Ambiental

de Purines), con el objetivo de asegurar la calidad tecnológica y ambiental de los proyectos, y evitar el desprestigio que algunas iniciativas especulativas pudieran conllevar.

Tabla 2- Condiciones técnicas, económicas y de promoción a cumplir por las empresas integradas en ADAP, tratando purines mediante procesos térmicos.

CONDICIONES TÉCNICAS

1. Realización de una contribución efectiva al medio ambiente

a.- El proceso utilizado deberá tener por objetivo el desimpacto ambiental de los purines.

a.1.- Los procesos unitarios a integrar en la estrategia de tratamiento son:

- Digestión anaerobia
- Digestión aerobia
- Nitrificación- desnitrificación
- Fijación N-NH₄⁺ por acidificación
- Reducción contenido de agua por evaporación y/o secado
- Reducción e las emisiones por condensación y reutilización del agua evaporada.

a.2.- Las instalaciones deberán transferir al producto sólido obtenido, o a la corriente gaseosa en forma de N₂, un mínimo del 70% del nitrógeno contenido en los purines tratados.

a.3.- Las instalaciones deben cumplir con la legislación sobre emisiones y vertidos vigente, y con los siguientes valores máximos de emisión: SH₂: 10 mg/Nm³; NH₃: 75 mg/Nm³; Partículas sólidas: 100 mg/Nm³.

a.4.- No se consideran instalaciones de tratamiento en que tan solo se apliquen los procesos de evaporación o secado, ya que por si solos no son suficientes para conseguir un nivel aceptable de desimpacto.

b.- Los purines a tratar deben estar identificados por la Administración competente como excedentarios, en la zona donde se sitúe la planta.

c.- Las instalaciones deberán mantener un libro de registro de los purines tratados y podrá hacerse público.

2. Obtención de ahorro en energía primaria y eficiencia energética

a.- El REE (Rendimiento Eléctrico Equivalente) deberá ser igual o superior al 55%. En el cálculo de la energía térmica utilizada no se contabilizará la que no contribuya al tratamiento de los purines

b.- La potencia instalada (MW) de las unidades de cogeneración será igual o inferior a 1,2921 x Ton/hora de agua evaporada.

c.- La generación de electricidad deberá estar asociada de forma significativa a los purines tratados, según el libro de registro

3. Obtención de una rentabilidad económica razonable

La rentabilidad de los costes de inversión en los proyectos deberá estar entre 4 y 7 puntos por encima del índice EURIBOR a un año. La rentabilidad se calculará como la tasa interna de retorno (TIR) sin financiación externa, a 15 años.

REQUERIMIENTOS DE PROMOCIÓN

1. Contribución al prestigio del sector

2. Cumplimiento de las directivas europeas y legislación española

a.- En las instalaciones se establecerá un canon de tratamiento, a abonar por los productores del residuo, que cubra el transporte a las instalaciones y una parte del coste del desimpacto, de forma que:

- Los productores tengan un coste que sea asumible, pero no inferior al de gestión por métodos tradicionales dentro del propio sector.
- Se mantenga un equilibrio entre contribución al medio ambiente, ahorro energético y rentabilidad, que justifica el incentivo al desimpacto
- Se estimule la minimización del residuo en origen y el ahorro de agua

b.- Las empresas asociadas deberán tener una política activa de mejora continua

Las empresas integradas en ADAP deben superar una auditoría externa de sus instalaciones, debiendo cumplir los requerimientos técnicos, económicos y de promoción que se indican en la Tabla 2. En la

actualidad, las empresas ADAP operan 16 plantas de tratamiento centralizado de purines, tratando un total de unos 1,6 millones Tm/año de purines de cerdo y gestionando una potencia eléctrica instalada total de 224 MW.

CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS

Como se ha visto en los apartados precedentes, los sistemas desarrollados pueden venir caracterizados por el tratamiento que se aplique para reducir o destruir la materia orgánica y para evitar la volatilización del amonio. También pueden caracterizarse por la fuente de energía utilizada para llevar a término el proceso térmico. En la Tabla 3 se indican las tecnologías más conocidas, clasificadas según estos criterios.

Tabla 3.- Clasificación de sistemas de concentración térmica de deyecciones ganaderas

Fuente energía	Origen energía	Proceso o empresa	Aplicado a: (granja o colectivo)	Reducción materia orgánica	Control amoníaco
Propia	Calor disipado compostaje	<i>Biodrying</i>	Estiércol bovino o gallinaza	Compostaje	Lavado de gases
	Biogás	MIDA-TRA (Francia). No en uso	Bovino (granja)	Digestión anaerobia (previa)	
	Biogás	<i>Danks Biogas - BJORN evaporator</i> (Dinamarca)	Purines de cerdo (granja)	Digestión anaerobia (previa)	Acidificación
Externa	Biomasa (Incineración residuos cárnicos)	CEDEV-Cooperl (Bretaña, Francia)	Purines de cerdo (secado colectivo; separación S/L y NDN en granja)	Compostaje y NDN	NDN en granja; lavado de gases en centralizado
	Fósil (energía térmica de cogeneración con gas natural)	SINAE (España)	Purines de cerdo (colectivo)	Digestión anaerobia o físico-químico (posterior)	Acidificación
	Fósil (energía térmica de cogeneración con gas natural)	GUASCOR (España)	Purines de cerdo (colectivo)	Digestión aerobia	Nitrificación
	Fósil (energía térmica de cogeneración con gas natural)	NETPORC – OTSI (España)	Purines de cerdo (colectivo)	Físico-químico, ozonización	Acidificación
	Fósil (energía térmica de cogeneración con gas natural)	Ros-Roca (España)	Purines de cerdo (colectivo)	Digestión aerobia - NDN	NDN
Mixta (fósil + propia)	Gas natural+biogás	PROMEST (Holanda). No en uso	Purines de cerdo (colectivo)	Digestión anaerobia (previa)	Nitrificación
	Gas natural + biogás	MEMON (piloto-Holanda) No en uso	Purines de cerdo	Físico-químico. Digestión anaerobia (posterior)	Acidificación (previo), stripping (posterior)
	Energía térmica de cogeneración con biogás y gas natural	VALPUREN - SENER y SGt (España)	Purines de cerdo (colectivo)	Digestión anaerobia - codigestión (previa)	Acidificación

La fuente de energía térmica puede ser: 1) la energía química propia contenida en el residuo orgánico a tratar; 2) la energía química contenida en otro residuo orgánico; 3) una fuente fósil; 4) la fracción térmica de la energía producida en un sistema de cogeneración alimentado con gas natural; 5) una combinación de 1) y 4), o una combinación de 1), 2) y 4). En general, la fuente será propia (1), externa (2, 3, 4), o una combinación de las dos (5).

Procesos que utilizan como fuente de energía la propia del residuo a tratar

El proceso de “*Biodrying*” (Figura 2) es básicamente un proceso de compostaje en el que se aprovecha el aumento de temperatura, debido a los procesos biológicos aerobios exotérmicos, para evaporar parte del contenido de humedad del residuo. Para que el proceso sea viable es necesario añadir otros componentes que suministren carbono (para equilibrar la relación C/N y aportar más energía), aporten la estructura adecuada, y permitan reducir la humedad inicial al nivel adecuado para el desarrollo del proceso. En el proceso de compostaje, cuando la relación C/N no es adecuada se produce la volatilización de gran parte del nitrógeno amoniacal, por lo que es conveniente realizar un tratamiento de los gases producidos. Esto implica utilizar sistemas cerrados, o bien hileras con aireación por aspiración forzada en la pila. Es importante también evitar la formación de bolsas anaerobias en la masa de residuo, ya que la existencia de dichas bolsas provocaría la producción de metano de forma incontrolada, que escaparía a la atmósfera, con el consecuente impacto ambiental (Edelman et al., 1999). Este proceso es más fácilmente aplicable a residuos de consistencia sólida (estiércol) que a purines. El producto final tiene una sequedad del orden del 50-60%. Existen varias experiencias en Estados Unidos (Wright, 2004), pero no se conoce ninguna experiencia publicada en España

La empresa danesa *Dansk Biogas* ha implantado, a nivel de granja porcina, un esquema de tratamiento (Figura 3) basado en la combinación de digestión anaerobia, separación sólido/líquido, con compostaje de la fracción sólida y evaporación parcial de la fracción líquida. El proceso de evaporación es al vacío y a baja temperatura, con acidificación previa para fijar el amoníaco. Como fuente de calor para el proceso de evaporación se utiliza únicamente la energía térmica excedentaria producida en el motor de cogeneración, que utiliza como combustible el biogás generado en el proceso de digestión anaerobia. Para incrementar la producción de biogás, la planta trata otro residuo orgánico en codigestión, lo cual se traduce en mayores ventas de electricidad, cubrir la demanda térmica de la granja y disponer de excedente de calor para la reducción parcial de volumen del residuo tratado.

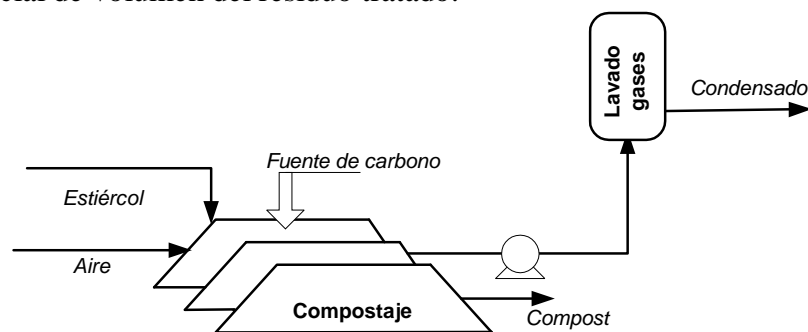


Figura 2. Esquema de tratamiento “Biodrying”

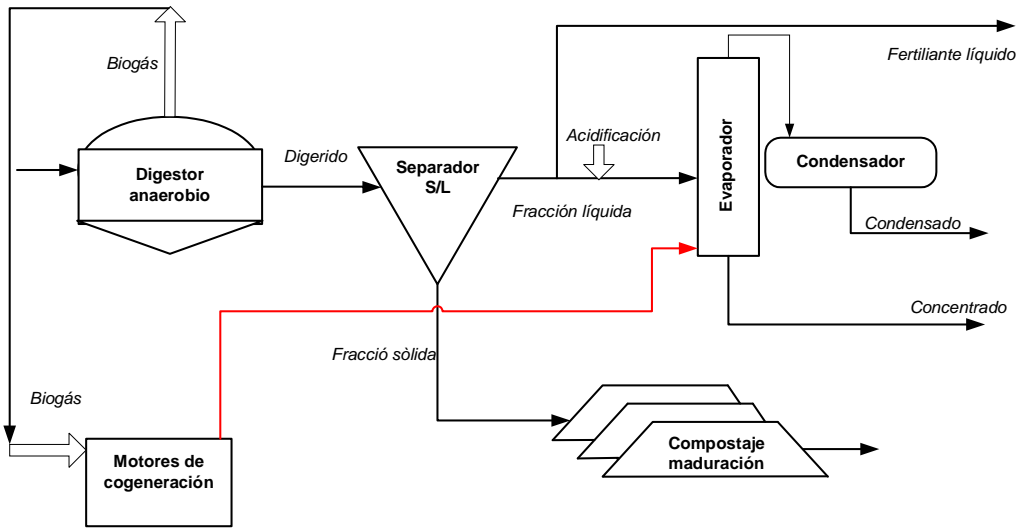


Figura 3. Proceso Dansk-Biogás (Dinamarca)

El proceso MIDA-TRA consistía, básicamente, en la digestión anaerobia de estiércol (sólido) bovino en 4 reactores discontinuos con recirculación de lixiviado. El producto digerido era escurrido, secado y peletizado mediante el calor suministrado por la combustión del biogás.

Procesos que utilizan energía externa

Un ejemplo exitoso de secado colectivo es el de la Cooperativa CEDEV-COOPERL, en la Bretaña francesa, dónde realizan un secado colectivo de las fracciones sólidas separadas a nivel de granja. Cada granja adopta un sistema diferente de tratamiento y separación, en función de su tamaño, incluyendo la nitrificación/desnitrificación de la fracción líquida para las granjas mayores (Figura 4). Este proceso tiene la peculiaridad de utilizar como fuente de energía térmica el calor producido en la planta de incineración de residuos cárnicos de la propia cooperativa.

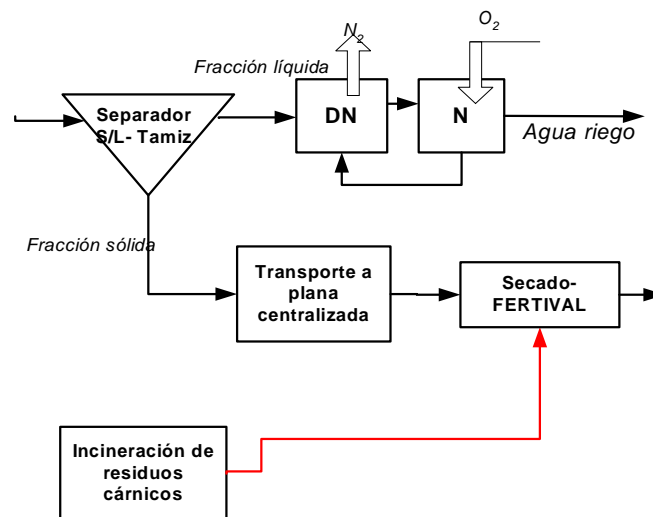


Figura 4. Esquema de tratamiento utilizado por la Cooperativa CEDEV-COOPERL (Francia)

El proceso que utilizan las plantas de la empresa SINAE (Figura 5) consiste, primeramente, en una separación sólido/líquido (S/L). La fracción líquida se acidifica con ácido sulfúrico para evitar el escape del amoníaco en el posterior proceso de evaporación al vacío a baja temperatura. La fracción sólida de la separación S/L junto con el concentrado del evaporador se envían al proceso de secado. Los condensados procedentes del evaporador son sometidos a un proceso de tratamiento, y los gases de salida del secado son sometidos a un proceso de lavado, con ciclones separadores para retener el polvo. Los gases de

escape utilizados en la caldera de recuperación son enviados directamente a la atmósfera. Para el evaporador se utiliza el agua de refrigeración de las camisas de los motores, y los gases de escape de los mismos son utilizados para el aporte térmico al proceso de secado (Rodríguez, 2001¹).

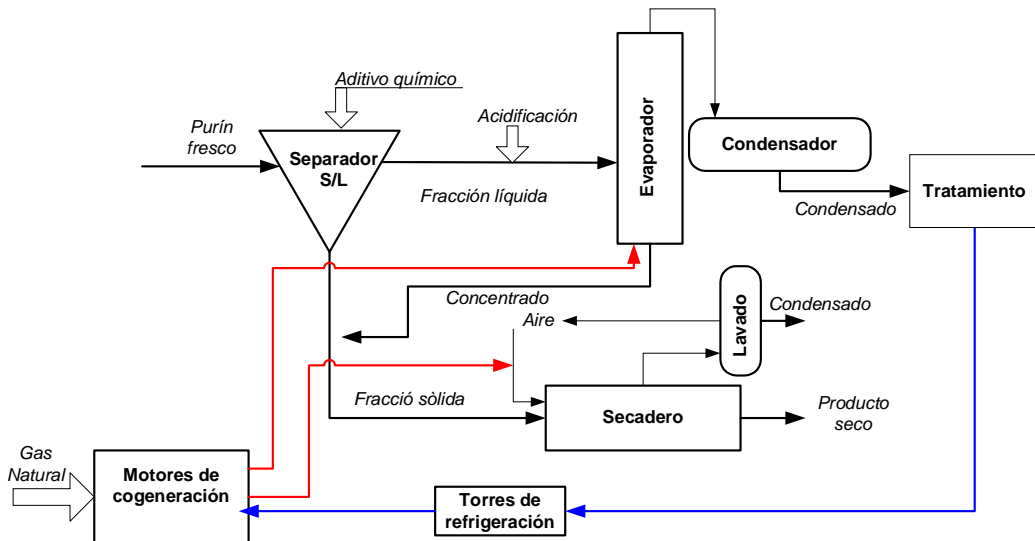


Figura 5. Esquema del proceso SINAE (España)

El esquema de funcionamiento de las plantas de la empresa GUASCOR se muestra en la Figura 6. El purín a tratar se almacena en la balsa de recepción donde se realiza una primera oxigenación. A continuación pasa a un sistema de separación S/L, consistente en una separación mecánica de gruesos, una decantación primaria y un sistema de flotación, con adición de coagulante-floculante. La fracción líquida es enviada a un reactor de digestión aerobia, previo al evaporado. Los evaporadores son atmosféricos. El concentrado de evaporación se decanta; su fracción decantada se envía a recepción y la fracción clarificada se recircula a evaporación. El depósito previo a evaporación se somete a una tercera oxigenación. La fracción sólida, procedente de la separación triple S/L (de separación mecánica, de decantación primaria y de flotación) se envía a secado térmico, previa mezcla con recirculado de producto seco. El secador consiste en un trómmel, cilindro giratorio, con paletas interiores (Rodríguez, 2002). La empresa Guascor tiene implantada la norma ISO-14000 en una de sus plantas en operación.

El esquema del proceso NETPORC, implantado por la empresa OTSI, se muestra en la Figura 7. Consiste primeramente en una separación S/L; la fracción líquida es enviada a un tratamiento químico, donde se produce la oxidación por ozono. El efluente es enviado a un evaporador al vacío con condensación posterior de los vapores generados. La mezcla de fracción sólida y concentrado de evaporación sigue un tratamiento térmico de higienización similar a la pasteurización (Rodríguez, 2004). Mientras que los otros procesos se están implantando en unidades con capacidades de tratamiento de 100.000 a 150.000 Tm/año, y potencias del orden de 15 MW, el proceso NETPORC se está modulando en unidades con capacidades de 30.000 a 50.000 Tm/año y potencias de 4,2 a 7,4 MW.

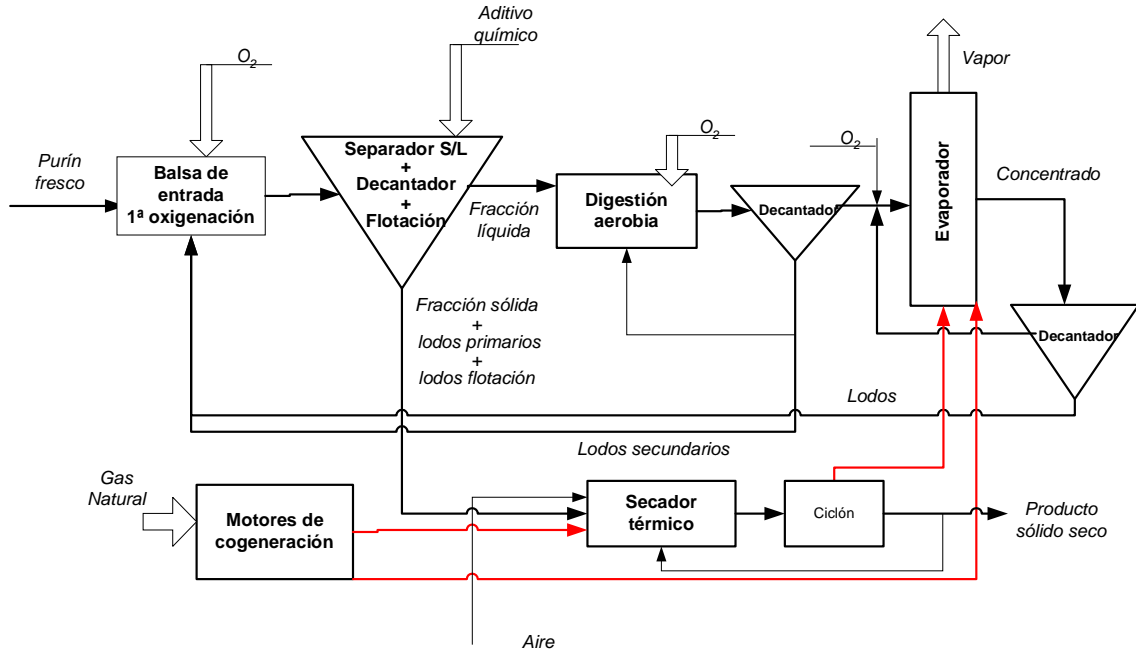


Figura 6. Esquema del proceso GUASCOR (España)

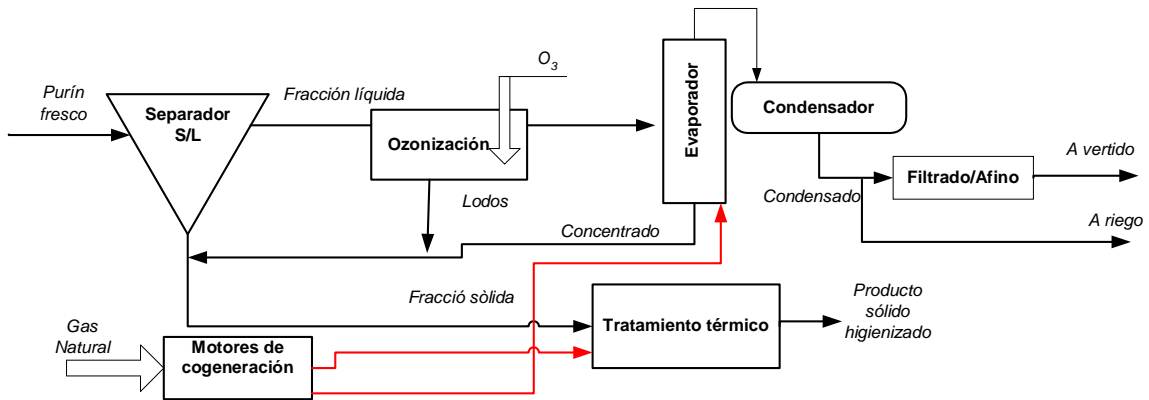


Figura 7. Esquema del proceso NETPORC (España)

El esquema de la tecnología utilizada en las plantas de *Ros Roca SA* se muestra en la Figura 8. El purín es tratado primeramente mediante un proceso térmico para su higienización. Después de una separación S/L, la fracción líquida es sometida a enfriamiento para mantener una temperatura estable y óptima para su posterior tratamiento mediante nitrificación/desnitrificación. Los lodos producidos van a la línea de sólidos y el líquido tratado va a evaporador, con recuperación de condensados. La línea de sólidos (lodos biológicos, concentrado de evaporador y fracción sólida inicialmente separada) posibilitan un proceso de compostaje u otro uso como abono o enmienda (Rodríguez, 2004).

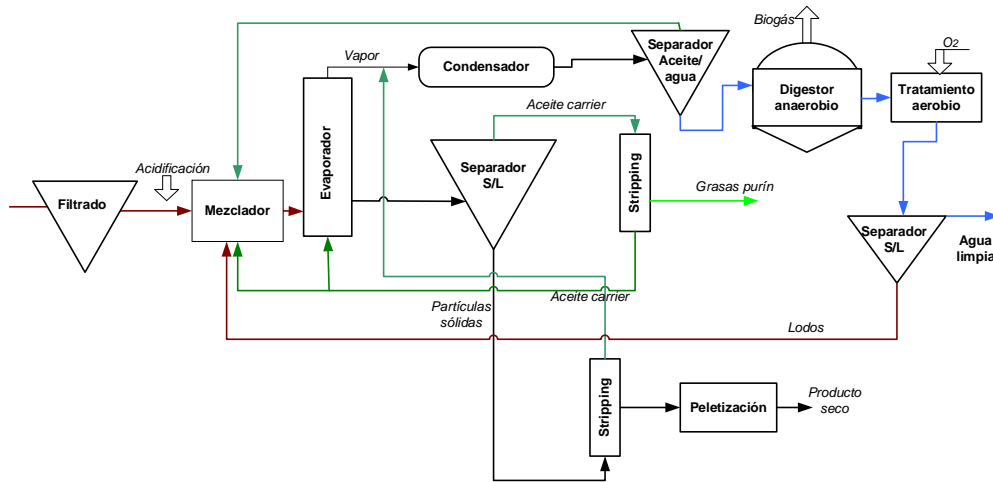


Figura 10. Esquema del proceso MEMON -Holanda (Rulkens y ten Have, 1994)

El proceso VALPUREN, aplicado en las plantas de TRACJUSA y VAG SL en Juneda (Les Garrigues - Lleida), fue desarrollado e implantado por SENER SA y SGt SA (Figura 11). Consiste en la concatenación de los siguientes procesos unitarios: El purín crudo, almacenado en tres tanques de recepción es alimentado a dos digestores anaerobios, de 3000 m³ cada uno, donde se produce la transformación de parte de la materia orgánica en biogás, el cual se mezcla con gas natural para alimentar los motores de cogeneración. Sobre el efluente de la digestión se realiza una separación S/L mediante dos centrífugas. La fracción líquida es acidificada con ácido sulfúrico para evitar la volatilización del amoníaco en el evaporador, y pasa a un evaporador de dos efectos al vacío y a baja temperatura. El vapor producido es condensado y enviado a las torres de refrigeración de los motores de cogeneración. La fracción sólida obtenida de la centrífuga junto con el concentrado de evaporador se envía al secadero, donde se obtiene un producto seco, que a continuación se peletiza. Los gases de salida del secadero se filtran y se lavan en un scrubber para eliminar impurezas, y a continuación se condensan. Parte de los gases se recirculan y el resto va a tratamiento mediante biofiltro (Sabater y Lobo, 2000; Rodríguez, 2001²; Burton y Turner, 2003). Es el único proceso en España que utiliza como fuente de energía gas natural y biogás producido en el propio proceso. Para incrementar la producción de biogás, reducir el consumo de gas natural y contribuir a la gestión de la materia orgánica de la zona, se aditivan los digestores con pequeñas concentraciones de otros residuos biodegradables. Las plantas de TRACJUSA y VAG SL cuentan con un equipo de personal que gestiona el plan de purines y aplicación al suelo de la zona norte de la comarca de Les Garrigues.

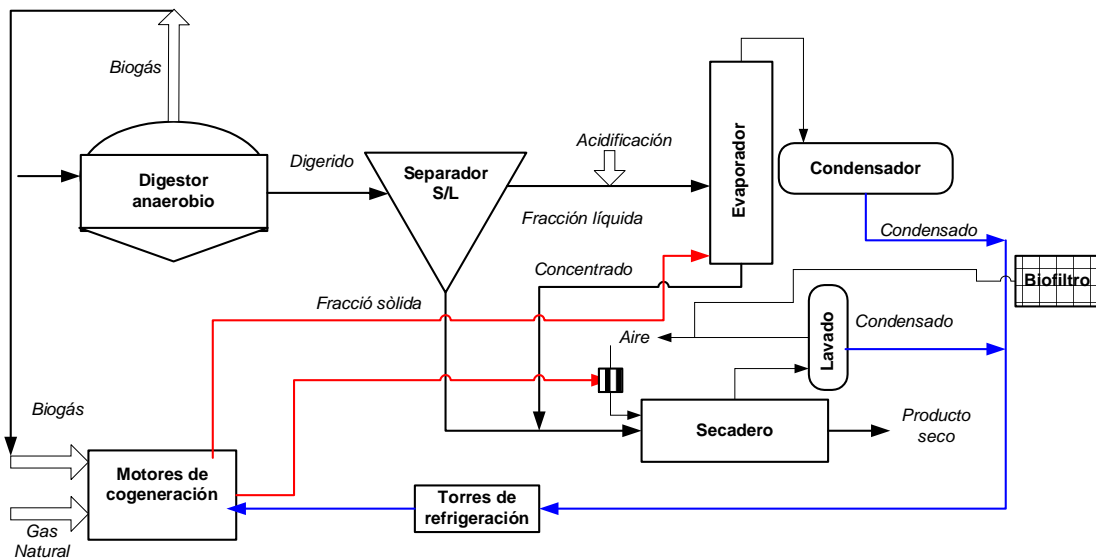


Figura 11. Esquema del proceso Valpuren (España)

EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Las empresas españolas indicadas en la Tabla 3 están integradas en la asociación ADAP. Esta asociación ha encargado diversos estudios a entidades externas sobre aspectos tales como las emisiones de gases de efecto invernadero ahorradas por estas plantas, el balance energético o la reducción de emisiones de NH₃.

El Institut Cerdà (2003) realizó un estudio comparativo de emisiones de efecto invernadero y de amoníaco asociados a la gestión de purines. Comparó tres sistemas, utilizando como unidad de comparación 100.000 Tm purines/año y las unidades fertilizantes correspondientes (N, P y K). Los tres sistemas considerados fueron: I) almacenamiento de purines en granja y posterior transporte y aplicación agrícola; II) fabricación de fertilizantes minerales utilizando energía fósil; III) tratamiento de purines mediante una instalación tipo media de ADAP (15 MW), con posterior aplicación agrícola. El resultado de este estudio se resume en la Tabla 4. La descripción detallada de las hipótesis de cálculo consideradas pueden encontrarse en el documento del informe referenciado. El valor negativo para las emisiones de CO₂ se justifica por el hecho de que las emisiones ahorradas superan a las emisiones netas.

Tabla 4. Estudio comparativo de emisiones (Institut Cerdà, 2003)

Unidades	Emisiones CO ₂	Emisiones NH ₃
	equivalentes (CO ₂ + CH ₄ + N ₂ O)	
	Tm CO ₂ /año	Tm NH ₃ /año
Sistema I	6.300,4	148,9
Sistema II	1.685,1	424
Sistema III	-55.400	2,6

Durante el año 2004, ADAP encargó a la consultoría internacional ECOFYS otro estudio al respecto (ECOFYS, 2004), utilizando metodología normalizada IPCC para las estimaciones de emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 1997; IPCC, 2000). En este estudio se concluye que mediante el uso de las tecnologías de concentración térmica mediante cogeneración, y con las condiciones medias de las plantas de ADAP, se produce un ahorro en las emisiones de gases de efecto invernadero, siendo el ahorro de 60.915 Tm CO₂ equivalente/año si la energía eléctrica substituye electricidad producida en centrales de carbón importado, o de 9.5578 Tm CO₂ equivalente/año si se substituye electricidad en la proporción del mix de generación eléctrica peninsular (en base a 100.000 Tm purines/año y potencia media instalada de 15 MW, según esquema energético de la Figura 12). El equivalente económico de este ahorro está comprendido entre 0,2 y 1,2 M€/año, si se considera un valor de 20€/Tm CO₂. Los valores serían más favorables para las instalaciones que producen biogás en el proceso de tratamiento de los purines.

En relación al balance energético, todas las plantas han de cumplir con un rendimiento eléctrico equivalente (REE) mínimo del 55%, que es el considerado para una central eléctrica de ciclo combinado, como mejor tecnología disponible.

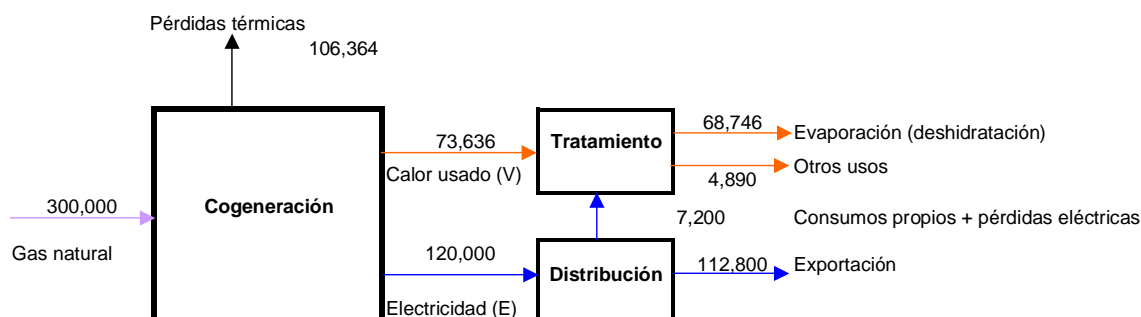


Figura 12. Detalle del balance de energía(MW-h) del modelo de planta media ADAP (Ecofys, 2004).

Toda instalación con un valor superior al mínimo REE anterior, con la producción y consumo de biogás substituyendo gas natural, con un alto rendimiento en el uso de energía térmica, o con integración de otros procesos de aprovechamiento de energía térmica, redundará en una mayor eficiencia de estas instalaciones en comparación con centrales eléctricas térmicas convencionales, tanto a nivel energético como de emisiones de gases de efecto invernadero. Si estas instalaciones contribuyen, además, a la producción de fertilizantes que substituyan a los fertilizantes químicos de síntesis y a la mejora de la gestión de los residuos ganaderos, facilitando el transporte, redistribución y aplicación, a un bajo coste energético, podrán considerarse las tecnologías de concentración térmica como una aportación interesante a la gestión de los residuos ganaderos. Para ello, se considera que estas instalaciones han de contribuir de forma significativa a la gestión de los residuos orgánicos en la zona de influencia de la planta, y han de convertirse en fábricas de nuevos productos que substituyan importaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la asociación ADAP (<http://www.adap.org.es>) las facilidades dadas para poder acceder y recabar información de sus archivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Birchler, D.R.; Milke, M.W.; Marks, A.L.; Luthy, R.G. (1994). Landfill leachate treatment by evaporation. *Journal of Environmental Engineering.*; 120 (5), pp. 1109-1131.
- Bonmatí, A. (2001). Usos de la energía térmica para la mejora del proceso de digestión anaerobia de purines de cerdo y para la obtención de productos de interés. Tesis doctoral. Universidad de Lleida.
- Bonmatí, A., Flotats, X., Mateu, L., Campos, E. (2001). Study of thermal hydrolysis as a pre-treatment to mesophilic anaerobic digestion of pig slurry. *Water Science and Technology*, 44(4) pp 109-116.
- Bonmatí, A., Flotats, X. (2003¹). Pig slurry concentration by vacuum evaporation: influence of previous mesophilic anaerobic digestion process. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 53, pp 21-31.
- Bonmatí, A., Flotats, X. (2003²). Air Stripping of Ammonia from Pig Slurry: Characterization and Feasibility as a Pre- or Post-Treatment to Mesophilic Anaerobic Digestion. *Waste Management*, 23(3) pp 261-272.
- Bonmatí, A., Campos, E., Flotats, X. (2003). Concentration of pig slurry by evaporation: anaerobic digestion as the key process. *Water Science and Technology*, 48(4) pp 189-194.
- Burton, C.H., y Turner, C. (2003). *Manure management. Treatment strategies for sustainable agriculture*. 2nd edn., Silsoe Research Institute.
- Choi, H.L., Richard, T.L., Ahn, H.K. (2002). Composting high moisture materials: Biodrying poultry manure in a sequentially fed reactor. *Compost Science & Utilization*; 9(4), pp 303-311.
- ECOFYS (2004). Evaluación de las tecnologías de tratamiento y valorización de purines representadas en la ADAP en relación con la emisión de gases de efecto invernadero. Septiembre 2004.
- Edelman, W., Schleiss, K., Joss, A. (1999). Ecologic, energetic and economic comparison of anaerobic digestion with different competing technologies to treat biogenic wastes. En "II International Symposium on anaerobic digestion of solid waste, Barcelona, 15-17 June", Vol I, pp274-281.
- Grüter, H.; Matter, M.; Oehlmann, K.H.; Hicks, M.D. (1990). Drying of sewage sludge- and important step in waste disposal. *Water Science and Technology*; 22 (12), pp. 57-63.
- Have, P.J.W.; Chiappini, U. Processing of manure surpluses. *European Conference. Environment Agriculture Stock Farming in Europe*. Mantova, Italy, 1993; p 29
- Haug, R.T. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers, USA. 717 pps.
- Institut Cerdà (2003). Estudio comparativo de emisiones de efecto invernadero asociadas a la gestión de purines. Abril 2003.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. International Panel on Climate Change.
- IPCC (2000). IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. International Panel on Climate Change.
- Lide (1993). *CRC Hand book of Chemistry and Physics*. 73th edn., CRC Press.

- Lowe, P. (1995). Developments in the thermal drying of sewage sludge. *JCIWEM* 1995; 9 (3), pp. 306-316.
- Marks, A.L.; Luthy, R.G.; Diweker, U.M. (1994). Semi-continuous evaporation model for leachate treatment process evaluation. *Environmental Progress*. 13 (4), pp. 278-289.
- McKeough, P.; Fagernäs, L. (1999). Further evaporation and final treatment of process-water concentrates. *Water Science and Technology*; 40 (11-12), pp. 25-32.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2004). Anuario de Estadística Agroalimentaria 2002. http://www.mapya.es/es/estadistica/Anu_02/indice.asp
- Nilsson, B.; Strand, O. (1994). Evaporator condensate and caustic extraction liquor from a pulp factory treated with an anaerobic process. *Water Science and Technology*; 29 (5-6), pp. 399-407.
- Perry R.H. (1992). *Perry. Manual del ingeniero químico*. 6th edn., McGrawHill; Vol. 1.
- Rodríguez, J. (2001¹). Planta de tratamiento de purines. Tratamiento de purines con aporte energético por cogeneración (SINAE). *Infopower*, nº 28, pp. 21-33.
- Rodríguez, J. (2001²). Planta de tratamiento de purines de TRACJUSA. Tratamiento de purines con producción de biogás y cogeneración con seis motores de gas. *Infopower*, 34, pp. 21-45.
- Rodríguez, J. (2002). Planta de tratamiento y valoración de purines de ganado porcino, con unidad de cogeneración asociada de 15 MW, en Altorrincón, Huesca. *Infopower*, octubre de 2002
- Rodríguez, J. (2003). Planta de tratamiento biológico de purines, con cogeneración asociada, promovida por Ros Roca en Langa de Duero, Soria. *Infopower*, nº 59 (octubre 2003)
- Rodríguez, J. (2004). Planta de purines de La Andaya. Planta de tratamiento de purines de 58.400 m³/año de capacidad con cogeneración asociada de 7,4 MW (OTSI). *Infopower*, nº 63 (febrero 2004)
- Rulkens, W.H., Ten Have, P.J.W. (1994). Central processing of pig manure in the Netherlands. *Water Science and Technology*; 30(7), pp 157-165.
- Rulkens, W.H., Klapwijk, A., Willers, H.C. (1998). Recovery of valuable nitrogen compounds from agricultural liquid wastes: potential possibilities, bottlenecks and future technological challenges. *Environmental Pollution*; 102, S1, pp 727-735.
- Sabater, J., Lobo, J. (2000). Tratamiento, reducción y valorización de purines de cerdo. Proceso Valpuren de SENER/SGt. *Residuos*, 53, pp 48-53.
- Teira, M.R. y Flotats, X. (2003). A method for livestock waste management planning in NE Spain. *Waste Management*; 67, pp. 917-932.
- Vitolo, S.; Petarca, L.; Bresci, B. (1999). Treatment of olive oil industry wastes. *Bioresource Technology*; 67, pp. 129-137.
- Wossink, A., Benson, G. (1999). Animal agriculture and the environment: experiences from northern Europe. *Emerging Environmental and Natural Resources Issues in the South*, June 1999, Clearwater, Florida.
- Wright, P. y Inglis, S. (2001) Comparing Odor Control Treatment Methods on New York Dairy Farms. 2001 ASAE Annual International Meeting, Sacramento, US.
- Wright, P. (2004). Potential for Biodrying Manure. 5th Annual NYSERDA Innovations in Agriculture Conference. <http://www.manuremanagement.cornell.edu/>