



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica  
de Ingenieros de Minas

# MÁSTER EN INGENIERÍA MINERA Y DE RECURSOS ENERGÉTICOS

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE BIOGÁS GENERADO A  
PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN EL  
PRINCIPADO DE ASTURIAS

CALCULATION OF BIOGAS GENERATED WITH  
AGROINDUSTRIAL WASTE IN THE PROVINCE OF ASTURIAS

León, Diciembre de 2016

Autor: Héctor Díez Fernández  
Tutor: Alberto González Martínez



El presente proyecto ha sido realizado por D. Héctor Díez Fernández, alumno/a de la **Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas** de la **Universidad de León** para la obtención del título de Máster en Ingeniería Minera y de Recursos Energéticos.

La tutoría de este proyecto ha sido llevada a cabo por D. **Alberto González Martínez**, profesor/a del Máster en Ingeniería Minera y de Recursos Energéticos.

Visto Bueno

Fdo.: D. Héctor Díez Fernández  
El autor del Trabajo Fin de Máster

Fdo.: D. Alberto González Martínez  
El Tutor del Trabajo Fin de Máster



# RESUMEN

Como resumen breve al estudio realizado, se puede decir que se ha intentado realizar un plan de trabajo estudiando de la forma más rigurosa todos los elementos que competen a dicho estudio de biogás, introduciéndose a la vez, o centrándose en las zonas que conforman el Principado de Asturias.

Se ha comenzado el estudio informando de la tecnología y áreas de trabajo donde se aplica tomando valores e información lo más actualizada posible.

Seguidamente se han estudiado España y su comparación con las zonas o comarcas de Asturias en relación a las materias primas para la producción de biogás.

Por último, se ha realizado un pequeño estudio de viabilidad para el presente caso.

Podríamos decir como final a este estudio que la explotación de Biogás en España como en las zonas de Asturias es una apuesta muy viable para un futuro cercano pudiendo así crear una mayor sostenibilidad de la zona y menos dependencia externa, así como de energías fósiles.



# ÍNDICE.

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1	La energía hoy en día .....	1
1.2	Evolución de las necesidades energéticas. ....	2
1.3	Residuos .....	3
2	DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA. ....	6
2.1	Características y tipos de Biogás. ....	6
2.1.1	Potencial energético y aprovechamiento.....	6
2.2	Usos del Biogás.....	8
2.3	Proceso de tratamiento de residuos agroindustriales: La digestión anaeróbica.....	10
2.3.1	Materias primas para la producción de biogás. ....	12
2.3.2	Proceso de digestión anaeróbica. ....	17
2.3.3	Tecnología de la digestión anaeróbica. ....	23
2.4	CO-DIGESTIÓN anaerobia.....	32
2.4.1	Co-digestión de residuos ganaderos y residuos de la industria aceitera. ....	36
2.4.2	Co-digestión de residuos ganaderos y residuos hortofrutícolas. ....	37
2.4.3	Co-digestión de residuos ganaderos con residuos de naranja. ....	38
2.4.4	Co-digestión de residuos ganaderos con residuos de remolacha. ....	40
2.4.5	Co-digestión de residuos ganaderos y cultivos energéticos. ....	42
2.4.6	Co-digestión de residuo ganadero y maíz. ....	44
2.4.7	Co-digestión de residuos ganaderos y residuos animales.....	45
2.4.8	Co-digestión con residuos ganaderos y residuos de matadero. ....	48
2.4.9	Co-digestión con residuos ganaderos y residuos pesqueros. ....	49
2.4.10	Co-digestión de residuos ganaderos y residuos de la industria láctea. ....	53
2.4.11	Co-digestión de residuos ganaderos y residuos de la fabricación de biodiesel. ...	53
2.5	Diseño de las plantas de digestión anaeróbica. ....	56
2.5.1	Diagrama de flujos de una instalación de digestión.....	56
2.5.2	Diseño de una planta de biogás. ....	57



2.5.3	Fases del proceso de digestión.....	57
2.6	Caracterización de los sustratos agroindustriales.....	58
2.6.1	Tipos de subproductos agroindustriales. ....	58
2.6.2	Características de los subproductos agroindustriales.....	60
3	LEGISLACIÓN APLICABLE AL BIOGÁS DE DIGESTIÓN DE MATERIAS PRIMAS AGROINDUSTRIALES. ....	63
3.1	Marco legislativo. ....	63
3.1.1	Legislación de la UE. ....	64
3.1.2	Legislación nacional.....	65
3.1.3	Legislación autonómica. ....	65
3.2	Análisis del marco legislativo. ....	66
3.2.1	Materias primas.....	66
3.2.2	Las instalaciones. ....	73
3.2.3	Digestato. ....	78
4	EL BIOGÁS EN EUROPA.....	80
5	SITUACIÓN DEL BIOGÁS EN ESPAÑA.....	82
5.1	PER 2011-2020. ....	85
5.1.1	Introducción. ....	85
5.1.2	Contexto energético actual de las energías renovables en España. ....	88
5.1.3	Objetivos.....	92
5.1.4	Suspensión PER 2011-2020. ....	95
5.2	Producción de Biogás en España.....	97
5.2.1	Depuración y aprovechamiento energético del biogás.....	99
5.2.2	Subproductos: Digestato. ....	104
5.3	Producción de residuos agroindustriales aprovechables en España. ....	108
5.3.1	Producción de materia prima de origen ganadero. ....	111
5.3.2	Materias primas de origen animal (excluyendo estiércoles y purines).....	120



5.3.3	Materias primas de origen vegetal de la industria agroalimentaria y los subproductos de la industria de biocarburantes. ....	123
5.4	Potencial de generación de biogás agroindustrial en España.....	127
5.4.1	Introducción. ....	127
5.4.2	Materias primas de origen ganadero. ....	129
5.4.3	Materias primas de origen animal (excepto estiércoles y purines). ....	131
5.4.4	Producción de residuos vegetales, de la industria agroalimentaria y de la industria bioenergética. ....	134
5.4.5	Resumen total producción de Biogás en Asturias por distintas metodologías..	136
5.4.6	Resumen de producción de subproductos agroindustriales y su potencial productivo en biogás en España.....	137
6	POTENCIAL ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL DEL BIOGÁS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA.....	139
6.1	Introducción.....	139
6.2	Potencia instalada.....	140
6.3	Autoconsumo térmico de las instalaciones de codigestión.....	140
6.4	Autoconsumo eléctrico de las instalaciones de codigestión. ....	141
6.5	Reducción de emisiones en el biogás de digestión de productos agroindustriales.	142
6.5.1	Introducción. ....	142
6.5.2	Correlación entre producción eléctrica y reducción de emisiones en la digestión de subproductos agroindustriales.....	143
7	POSIBLE PLANTA DE BIOGÁS EN ASTURIAS. ESTUDIO DE VIABILIDAD.....	144
7.1	Introducción.....	144
7.2	Normas de aplicación básicas. ....	145
7.2.1	Real Decreto 661/2007, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial→ suspendida.....	145
7.2.2	Real Decreto 949/2009. Bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines.....	147

CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE BIOGÁS GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS  
AGROINDUSTRIALES EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS



7.3	Desarrollo de nuevas plantas.....	148
7.4	Volatilidad de sustratos: Disponibilidad y coste de sustrato. (Residuo, subproducto). .....	149
7.5	Modelos de negocio.....	149
7.6	Rentabilidad.....	151
7.6.1	Costes de inversión.....	152
7.6.2	Ingresos de explotación (volatilidad de ingresos).....	154
7.6.3	Gastos de explotación.....	154
7.6.4	Rentabilidad económica.....	155
7.7	Planta tipo en Asturias.....	155
8	Conclusiones.....	159
9	Bibliografía.....	160



## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Tratamiento según el uso final del biogás (0= no tratamiento; 1= tratamiento parcial; 2= tratamiento elevado) Fuente: CIRCE.....	9
Tabla 2: Componentes del biogás en función del sustrato utilizado. ....	16
Tabla 3: Producción de biogás en función de sustrato utilizado. (Coombs, 1990) .....	16
Tabla 4: Parámetros de fermentación en tres tipos de digestores.....	32
Tabla 5: Caracterización relativa para la co-digestión de diferentes residuos orgánicos.....	34
Tabla 6: <i>Potenciales de producción de biogás de algunos residuos orgánicos de la industria alimentaria y de la fracción orgánica de residuos municipales.</i> ....	35
Tabla 7: Plantas industriales de biometanización que co-digieren residuos ganaderos y residuos hortofrutícolas.....	38
Tabla 8: Datos técnicos de una planta industrial de co-digestión de purín de vacuno y remolacha.....	41
Tabla 9: Biogás producido durante la completa degradación de 1 kg de sustrato (TekniskaVerken).....	42
Tabla 10: Datos técnicos de plantas de biometanización que co-digieren residuos ganaderos y cultivos energéticos.....	43
Tabla 11: Datos técnicos de plantas de biometanización que co-digieren residuos ganaderos y maíz. ....	45
Tabla 12: Producción de metano a partir de la digestión anaerobia de diferentes subproductos animales Fuente: SwedishInstitute of Agricultural and Environmental Engineering (JTI). ....	46
Tabla 13: Datos técnicos de plantas de biometanización que co-digieren residuos ganaderos y residuos animales. Fuente: PROBIOGÁS. ....	47





Tabla 14: <i>Producción de biogás a partir de diferentes residuos pesqueros usados como sustrato único.</i> .....	50
Tabla 15: Producción de biogás a partir de diferentes residuos pesqueros en procesos de co-digestión con otros sustratos. ....	51
Tabla 16: Datos técnicos de plantas industriales de biometanización que co-digieren residuos ganaderos y residuos de glicerina. ....	55
Tabla 17: Relaciones C / N de algunos sustratos.....	61
Tabla 18: Valores de las concentraciones de los inhibidores más comunes .....	62
Tabla 19: Resumen de las características más significativas de los sustratos agroindustriales más habituales. ....	63
Tabla 20: Valores máximos de microorganismos admisibles.....	71
Tabla 21: <i>Producción bruta de biogás en Europa (ktep) (EurObserv'ER, 2007).</i> .....	82
Tabla 22: Inventario de Gases de Efecto Invernadero España. 1990-2008. ....	83
Tabla 23 : Objetivos globales del plan de energías renovables 2011-2020 y grado de cumplimiento de los objetivos obligatorios e indicativos de la Directiva 2009/28/CE.....	93
Tabla 24: Objetivos 2010,2015 y 2020 del plan de energías renovables 2011-2020 en el sector eléctrico (potencia instalada, generación bruta sin normalizar y generación bruta normalizada).....	94
Tabla 25: Objetivos del plan de energías renovables en el sector de la calefacción y refrigeración.....	94
Tabla 26: Objetivos del plan de energías renovables 2011-2020 en el sector del transporte..	95
Tabla 27 : Distribución del biogás en España.....	98
Tabla 28: Sustancias contaminantes en el biogás y sus efectos. ....	99
Tabla 29: Nivel del tipo de tratamiento del biogás según su uso final. ....	100



Tabla 30: Diferentes tipos de aprovechamiento del biogás en función de su grado de depuración. Fuente: Colección de informes de vigilancia tecnológica de Madrid. ....	100
Tabla 31: Producción de estiércoles y purines de Asturias. Fuente: propia. Referencias al potencial accesible. ....	120
Tabla 32: Producción subproductos de origen animal en España .....	121
Tabla 33 Producción de biogás a partir de subproductos de origen animal de Asturias. FUENTE: PROPIA.....	123
Tabla 34: Producción de subproductos de origen vegetal en España. Fuente: propia.....	125
Tabla 35: Producción de subproductos de origen vegetal en Asturias. Fuente: propia. ....	126
Tabla 36 Producción de biogás a partir de estiércoles y purines en España. ....	129
Tabla 37 Producción de biogás a partir de estiércoles y purines en Asturias. Fuente Propia	130
Tabla 38 producción de Biogás a partir de subproductos animales. Fuente: propia.....	132
Tabla 39 Producción de Biogás a partir de subproductos animales en Asturias. Fuente: propia.....	133
Tabla 40 Producción de biogás a partir de subproductos de origen vegetal en España. Fuente: Propia .....	134
Tabla 41 : Producción de biogás a partir de subproductos de origen vegetal. Fuente: propia.....	135
Tabla 42 Datos totales producción de Biogás .....	136
Tabla 43 Resumen de sustratos y biogás potencialmente aprovechables en España. ....	137
Tabla 44 emisiones CO2 .....	142
Tabla 45 Correlación entre electricidad y emisiones de GEI. Fuente: MARM .....	144

CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE BIOGÁS GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS  
AGROINDUSTRIALES EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS



Tabla 46: tabla de primas establecidas para la producción de biogás a partir de digestores anaerobios.....	146
Tabla 47 Ejemplo de relación entre la inversión en plantas individuales frente a plantas centralizadas. ....	153
Tabla 48 Datos de partida .....	156
Tabla 49 Costes asociados a planta tipo .....	156
Tabla 50 Gastos, Ingresos, Flujos de caja .....	157
Tabla 51 Gastos, Ingresos, Flujos de caja .....	158



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1: Equivalencias de biogás con otras fuentes de energía. Fuente: CIEMAT.....	7
Ilustración 2: Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaeróbica. Fuente: CIEMAT.....	11
Ilustración 3: Fases de la digestión anaerobia. ....	18
Ilustración 4: <i>Eliminación de sólidos volátiles, SV (%) y producción volumétrica de gas Pv (m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup> dig-día) para un reactor anaerobio continuo de mezcla completa, en función del tiempo de retención hidráulico. ....</i>	21
Ilustración 5: Digestores continuos de mezcla perfecta. ....	25
Ilustración 6: Digestores continuos de flujo pistón.....	26
Ilustración 7: Digestor discontinuo. ....	27
Ilustración 8: Diagrama de un sistema de contacto anaeróbico.....	28
Ilustración 9: Digestor anaeróbico de filtro. ....	29
Ilustración 10: Diagrama de un reactor de tipo IC. ....	31
Ilustración 11: Diagrama de flujo de una planta de biogás agroindustrial. ....	56
Ilustración 12: Diseño de una planta de biogás. ....	57
Ilustración 13: SANDACH permitidos en plantas de biogás y sus pretratamientos. ....	60
Ilustración 14: Producción de la energía primaria en la UE en el año 2007, en ktep. ....	81
Ilustración 15 : Inventario de Gases de Efecto Invernadero España. 1990-2008. ....	84
Ilustración 16 : Inventario de Gases de Efecto Invernadero España. 1990-2008. ....	84
Ilustración 17: Porcentajes energía autóctona y combustibles importados.....	87



Ilustración 18: Consumo final bruto de energía en 2010.....	90
Ilustración 19: Estructura de producción eléctrica 2010. ....	91
Ilustración 20 con procesado de digestato .....	105
Ilustración 21: sin procesado de digestato. ....	106
Ilustración 22: Resumen de la producción de subproductos agroindustriales y su potencial productivo de biogás. Mesa sobre materia prima agraria y biocombustibles. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid 16 septiembre de 2010.....	109
Ilustración 23: Producción estiércoles y purines en España. ....	111
Ilustración 24: Mapas distribución residuos ganaderos España. ....	113
Ilustración 25: zona de Belmonte de Miranda.....	115
Ilustración 26: zona de Cangas de Narcea .....	115
Ilustración 27: zona Cangas de Onís.....	116
Ilustración 28 : zona de Gijón.....	116
Ilustración 29 : zona de Grado .....	117
Ilustración 30 : zona de Llanes .....	117
Ilustración 31 : zona de Luarca.....	118
Ilustración 32 : zona de Mieres .....	118
Ilustración 33 : zona de Oviedo.....	119
Ilustración 34: zona de Vegadeo. ....	119
Ilustración 35 Tipos de potenciales.....	127
Ilustración 36 : Gráfico Total sector ganadero Zonas de Asturias .....	130



Ilustración 37 : Gráfico Total Biogás subproductos animales Zonas de Asturias.....	133
Ilustración 38 : Gráfico Total Biogás subproductos vegetales Zonas de Asturias. ....	135
Ilustración 39 : Gráfico Total Biogás Zonas de Asturias. ....	136
Ilustración 40 Hoja de ruta para el desarrollo de una planta de biogás. ....	148
Ilustración 42 Relación entre la inversión unitaria por unidad de potencia eléctrica. ....	152
Ilustración 42 Relación entre la inversión unitaria por unidad de potencia eléctrica para plantas de pequeña potencia.....	153
Ilustración 43 Modelo de negocio en cogeneración con gas natural .....	154



## 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1 La energía hoy en día

Las sociedades industrializadas actuales demandan y utilizan cantidades ingentes de energía destinadas a hacer funcionar las máquinas, transportar mercancías y personas, producir luz, calor o refrigeración. Todo el sistema de vida moderno está basado en la disposición de abundante energía a bajo coste. Su consumo ha ido creciendo continuamente paralelamente a los cambios de los hábitos de vida y las formas de organización social. Existe un abismo entre las demandas energéticas de los individuos de las primeras comunidades primitivas que se dedicaban a la caza y a la recolección y los ciudadanos de las sociedades hipertecnológicas actuales de los países desarrollados.

Los combustibles fósiles son, junto con algunas formas de energía renovable, las únicas fuentes primarias, que pueden emplearse directamente para generar calor, vapor o producir energía mecánica. Pensemos en los motores de explosión (otto y diesel) empleados en el transporte terrestre, y las turbinas utilizadas en el transporte naval o aéreo. Igualmente se utilizan en toda fuente de procesos industriales como altos hornos, plantas químicas, etc. Por último, se emplean en sistemas de calefacción en los hogares y los servicios.

Hacia la década de años 1970 las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas *energías alternativas*. Actualmente muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de *alternativas* ya no debe emplearse.

El objetivo de este estudio es establecer un plan de trabajo sobre la capacidad de explotación de recursos adaptados para la producción de biogás, así como un estudio para la zona concreta de Asturias y sus pequeñas zonas o comarcas.



## 1.2 Evolución de las necesidades energéticas.

Si estudiamos la evolución del consumo de energía podemos establecer una correlación entre su crecimiento y la industrialización. Antes de ella las demandas eran relativamente modestas y se cubrían por la madera, 90% en 1820. Pero a partir de 1850 empieza a utilizarse de forma creciente el carbón, cuyo rendimiento energético es superior, conforme las necesidades de la industria crecen.

Podemos observar que en 1900 el consumo mundial de energía primaria era aún modesto, 600 MTep. Cien años después, en 2000, el consumo se elevaba a 9023 MTep. Se había multiplicado por 15. El consumo por habitante se multiplicó por 4 en el mismo periodo.

A lo largo de estos cien años el crecimiento no ha sido constante, se produjo un sensible aumento antes de la 1ª Guerra Mundial para estabilizarse después durante un largo periodo que terminó con la 2ª Guerra Mundial. A partir de esta fecha el crecimiento del consumo aumentó notablemente. Sin embargo, el alza de precios del petróleo en 1973, obligó a un replanteamiento de la política energética mundial basada en el bajo precio del crudo y se produjo una ralentización en el crecimiento. En los 90 la desaparición de la URSS y el desplome de su economía moderó nuevamente el crecimiento global. En los últimos años el desarrollo de las economías emergentes de Oriente, como China, Corea y la India, hacen presagiar un crecimiento sostenido en el consumo mundial de energía primaria. Se estima que entre 2002 y 2030 la demanda crecerá en un 60% en el mundo.

En nuestro país el consumo de energía primaria, ha pasado de 57.660 kTep en 1975 a 137.761 en 2004. Lo que ha supuesto un incremento de casi el 140% en menos de 30 años.





### 1.3 Residuos

Se entiende por residuo a cualquier producto procedente de un proceso que carente de valor para su propietario, éste decide abandonar.

La *Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados* establece que “residuo” es cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar.

Los residuos pueden clasificarse de diversos modos.

Según su estado físico se dividen en:

- Sólidos.
- Líquidos.
- Gaseosos.

Según su procedencia se dividen en:

- Industriales.
- Agrícolas.
- Sanitarios.
- Residuos sólidos urbanos.

Por su peligrosidad se clasifican en:

- Residuos tóxicos y peligrosos.
- Radioactivos.
- Inertes.

Por último, en cuanto al marco legal según la anteriormente citada *Ley de Residuos y Suelos contaminados*, se distinguen las siguientes categorías:



- Residuos domésticos (también conocidos como Residuos Sólidos Urbanos): residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran también residuos domésticos los similares a los anteriores generados en servicios e industrias.
- - Se incluyen también en esta categoría los residuos que se generan en los hogares, tales como aparatos eléctricos y electrónicos, ropa, pilas, acumuladores, muebles y enseres así como los residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria.
  - Tendrán la consideración de residuos domésticos los residuos procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, los animales domésticos muertos y los vehículos abandonados.
- Residuos comerciales: residuos generados por la actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, de los servicios de restauración y bares, de las oficinas y de los mercados, así como del resto del sector servicios.
- Residuos industriales: residuos resultantes de los procesos de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo, de limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial, excluidas las emisiones a la atmósfera reguladas en la Ley 34/2007, de 15 de noviembre.
- Residuos agrícolas: se incluye en este grupo los residuos de las actividades del llamado sector primario de la economía (agricultura, ganadería, pesca, actividad forestal y cinegética) y los producidos por industrias alimenticias, desde los mataderos y las empresas lácteas hasta las harineras y el tabaco, industrias vinícolas, etc.



En este tipo de residuos centraremos nuestra atención ahora.

- Residuo peligroso: residuo que presenta una o varias de las características peligrosas enumeradas en el anexo III, y aquél que pueda aprobar el Gobierno de conformidad con lo establecido en la normativa europea o en los convenios internacionales de los que España sea parte, así como los recipientes y envases que los hayan contenido.
- Aceites usados: todos los aceites minerales o sintéticos, industriales o de lubricación, que hayan dejado de ser aptos para el uso originalmente previsto, como los aceites usados de motores de combustión y los aceites de cajas de cambios, los aceites lubricantes, los aceites para turbinas y los aceites hidráulicos.

Biorresiduo: residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de venta al por menor; así como, residuos comparables procedentes de plantas de procesado de alimentos.



## 2 DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA.

### 2.1 Características y tipos de Biogás.

El biogás es el producto gaseoso de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos. Su composición, que depende del sustrato digerido y del tipo de tecnología utilizada, puede ser la siguiente:

COMPUESTOS BIOGÁS:	%
Metano, CH <sub>4</sub> .....	50 - 75
Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub> .....	25 - 45
Vapor de agua, H <sub>2</sub> O.....	1 - 2
Monóxido de carbono, CO.....	0 - 0,3
Nitrógeno, N <sub>2</sub> .....	1 - 5
Hidrógeno, H <sub>2</sub> .....	0 - 3
Sulfuro de hidrógeno, H <sub>2</sub> S.....	0,1 - 0,5
Oxígeno, O <sub>2</sub> .....	0,1- 1,0

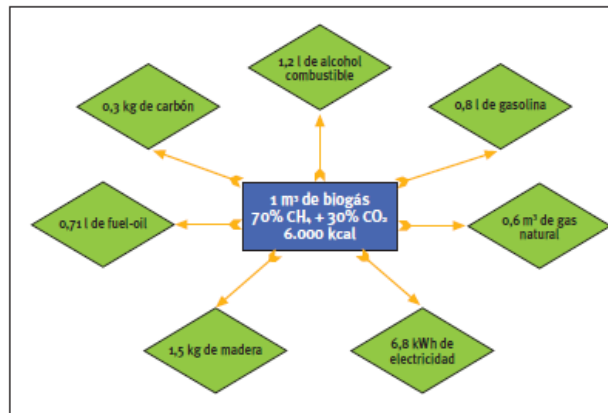
#### 2.1.1 Potencial energético y aprovechamiento.

El biogás es un gas combustible cuya composición depende fundamentalmente del tipo de sustrato utilizado y digerido en el proceso, y su alta concentración en metano, de elevada capacidad calorífica (5.750 kcal / m<sup>3</sup>), *le confiere características combustibles ideales para su aprovechamiento energético* en motores de cogeneración, calderas, turbinas, pudiendo por tanto generar electricidad, calor o ser utilizados como biocarburantes. De manera aproximada, se puede constatar que el gas natural tiene un contenido en CH<sub>4</sub> del 100%. Por lo tanto, se podría decir que 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a la energía de 0,65 m<sup>3</sup> de gas natural (suponiendo que el biogás tiene una riqueza media en metano del 65%).

Por otra parte, la cantidad de CH<sub>4</sub> necesaria para obtener 10 kWh de energía total es de 1 m<sup>3</sup> de metano aproximadamente. Si, además, el rendimiento eléctrico de un motor es del 40 – 45%, **se puede concluir que 1 m<sup>3</sup> de biogás puede llegar a producir 2,8 kWh de energía eléctrica renovable.**



En base a estos criterios la equivalencia energética del biogás respecto de otras fuentes de energía se resume en la siguiente ilustración.



**Ilustración 1: Equivalencias de biogás con otras fuentes de energía. Fuente: CIEMAT.**

Como se puede apreciar el metano es el principal componente del biogás y su baja densidad de  $0,7 \text{ kg/m}^3$  en condiciones normales, le hace más ligero que otros gases como el propano y butano, por lo que no se acumula a ras del suelo, disminuyendo los riesgos de explosión.

**Dependiendo del substrato orgánico del que proceda y de las características de las instalaciones de generación-captación del biogás se puede agrupar en los tres tipos siguientes:**

- **Biogás de vertedero:** Su aprovechamiento se produce una vez sellados los vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU) y en función de su composición pueden presentar impurezas de siloxanos, compuestos fluorados y clorados.

- **Biogás de digestores:** Dentro de este tipo se pueden diferenciar tres subgrupos, dependiendo del origen de los sustratos a digerir.

- Biogás de depuradoras urbanas que se genera a partir de la digestión anaeróbica de los fangos primarios de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas.

- Cuando la fracción orgánica procede de los RSU tenemos el Biogás FORSU.

- Si se digieren subproductos y residuos de los sectores agrícola, ganadero o la industria agraria, se obtiene el denominado Biogás Agroindustrial.



De los tipos de biogás anteriores, el más noble y con menor cantidad de impurezas es el obtenido a partir de residuos agroindustriales. No obstante, en los casos donde se usen como sustrato los estiércoles y purines pueden aparecer cantidades significativas de sulfuro de hidrogeno en el biogás, que será preciso depurar antes de su aprovechamiento energético.

## 2.2 Usos del Biogás.

El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos:

- En una caldera para generación de calor o electricidad.
- En motores o turbinas para generar electricidad.
- En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de  $H_2S$  y otros contaminantes de las membranas.
- Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural.
- Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como es el metanol o el gas licuado.
- Combustible de automoción.

El biogás, además de metano tiene otra serie de compuestos que se comportan como impurezas: agua, sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles como hidrocarburos halogenados, siloxanos, etc. Por tanto, es necesaria la limpieza del combustible, dependiendo del uso final.

Una aplicación tipo de la digestión anaerobia es en las granjas de ganado bovino y porcino de gran tamaño o como planta comarcal de gestión de residuos en zonas de alta concentración de ganado estabulado, por el gran problema que generan los purines. En este caso se puede proponer y proyectar una planta de digestión anaerobia de producción de biogás como auto abastecimiento energético según las necesidades.



**Tabla 1: Tratamiento según el uso final del biogás (0= no tratamiento; 1= tratamiento parcial; 2= tratamiento elevado) Fuente: CIRCE.**

Uso final	Eliminación del agua	Eliminación del CO <sub>2</sub>	Eliminación del H <sub>2</sub> S
Producción térmica en caldera	1	0	0-1-2
Producción de electricidad en motores estacionarios	1 ó 2	0-1-2	1 ó 2
Combustible de vehículos o para turbinas	2	2	2
Gas natural para calefacción	2	2	2
Pilas de combustible	2	2	2

Cuando la concentración de sulfuro de hidrógeno en el biogás supera las 200 ppm, debe ser sometido a un proceso previo de lavado antes de ser utilizado como combustibles. Ello se produce fundamentalmente cuando se utilizan estiércoles y purines en el proceso de digestión y por tanto se deberán tener en cuenta los correspondientes costes de pretratamiento a la hora de efectuar los estudios económicos de rentabilidad de las instalaciones.

**El aprovechamiento energético más habitual del biogás es en el motor de cogeneración**, mediante el cual se obtienen unos rendimientos en energía eléctrica de entre el 35 y el 40% y en energía térmica de entre el 30 y el 40%. La energía eléctrica puede entregarse a la red eléctrica, recibándose a cambio una remuneración económica.

Para el caso del biogás agroindustrial, especialmente cuando se usan como sustratos los estiércoles, una alta proporción de la energía térmica producida (entre el 40% y el 80%) se autoconsume para alcanzar y mantener la temperatura mesófila o termófila del proceso de digestión. El excedente térmico puede destinarse a distintos usos (calefacción, agua caliente sanitaria, secado, invernaderos, producción de frío).



## 2.3 Proceso de tratamiento de residuos agroindustriales: La digestión anaeróbica.

La digestión anaeróbica es un proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas se descompone en productos gaseosos o "biogás" ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.), y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación.

El biogás contiene un alto porcentaje en metano,  $\text{CH}_4$  (entre 50-70%), por lo que es susceptible de un aprovechamiento energético mediante su combustión en motores, en turbinas o en calderas, bien sólo o mezclado con otro combustible.

El proceso controlado de digestión anaerobia es uno de los más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados.

La digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos productos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etc. Estos residuos se pueden tratar de forma independiente, o juntos, mediante lo que se llama co-digestión. La digestión anaerobia también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias, como veremos más adelante.

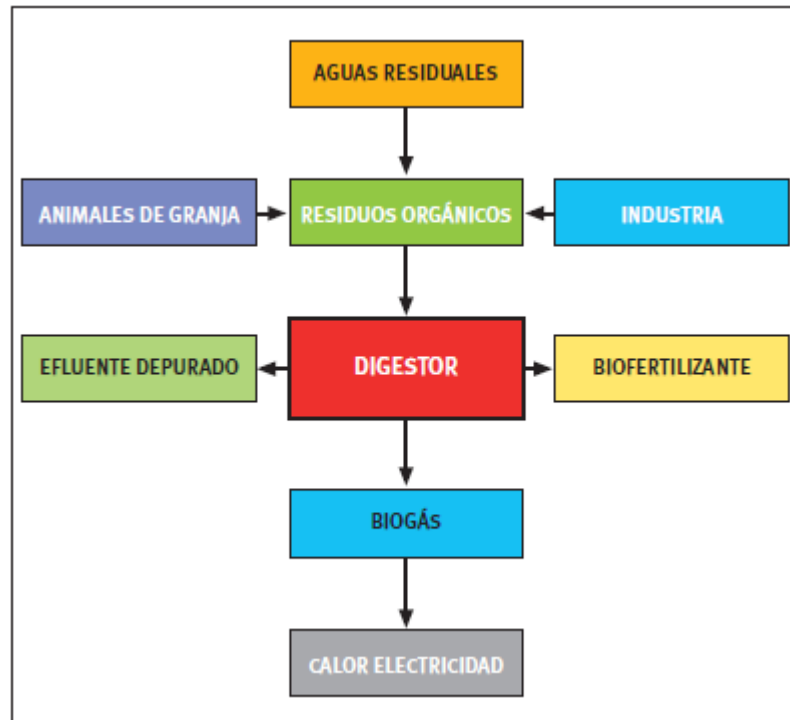
### **Los beneficios asociados a la digestión anaeróbica son los siguientes:**

- Reducción significativa de malos olores.
- Mineralización.
- Producción de energía renovable si el gas se aprovecha energéticamente y sustituye a una fuente de energía fósil.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la reducción de emisiones incontroladas de  $\text{CH}_4$ , (que produce un efecto invernadero 20 veces superior al  $\text{CO}_2$ ), y reducción del  $\text{CO}_2$  ahorrado por sustitución de energía fósil.





La promoción e implantación de sistemas de producción de biogás colectivos (varias granjas), y de co-digestión (tratamiento conjunto de residuos orgánicos de diferentes orígenes en una zona geográfica, usualmente agropecuarios e industriales) permite, además, la implantación de sistemas de gestión integral de residuos orgánicos por zonas geográficas, con beneficios sociales, económicos y ambientales.



**Ilustración 2: Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaeróbica. Fuente: CIEMAT**

La digestión anaerobia se puede llevar a cabo con uno o más residuos con las únicas premisas de que sean líquidos, contengan material fermentable, y tengan una composición y concentración relativamente estable. La co-digestión es una variante tecnológica que puede solucionar problemas o carencias de un residuo, si son compensadas por las características de otro.



### 2.3.1 Materias primas para la producción de biogás.

Como se ha visto, la digestión anaeróbica es un proceso biológico fermentativo, en el cual la materia orgánica es descompuesta por la acción de una serie de microorganismos bacterianos, que la transforman en biogás.

**En la digestión anaeróbica se emplean diferentes substratos:** fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas, aguas residuales industriales, residuos orgánicos industriales y residuos agrícolas y ganaderos. Todos estos substratos son residuos de diferente origen, por lo que su utilización para la obtención de biogás representa una ventaja añadida desde el punto de vista medioambiental.

#### 2.3.1.1 Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU).

Los RSU están constituidos por distintos componentes entre los que destacan la materia orgánica, papel y cartón, plásticos, vidrio, metales, material textil y madera. En el año 2003, se recogieron en España casi 23 millones de toneladas de RSU, de los cuales el 49 % aproximadamente correspondieron a la fracción de material orgánico, según datos de Eurostat 2004. En el año 2006 la cantidad generada alcanzó los 26 millones de toneladas debido tanto al incremento de población como a la generación de residuos urbanos por habitante.

*Cuando la materia orgánica contenida en los RSU se utiliza como substrato de la fermentación anaeróbica, el proceso se denomina biometanización o bioqasificación.*

En este proceso, la materia orgánica se transforma en biogás y en una fracción sólida más pobre que el compost, que también puede utilizarse como mejorador de suelo.

Antes de la digestión anaeróbica en las plantas de biometanización es necesario realizar un pretratamiento, que consiste en la separación de la FORSU y su trituración para reducir la fracción biodegradable a un tamaño adecuado y homogéneo, que facilite la biometanización.

Por otra parte, la FORSU también puede ser aprovechada para la producción de biogás en vertederos controlados. En este caso, los residuos se descargan, extienden y compactan para evitar las bolsas de aire en su interior, cubriéndose después con tierra u otros materiales apropiados, formando capas regulares sucesivas de espesores variables.



El periodo degradativo en el vertedero es diferente para cada constituyente. Así, la materia orgánica, como es el caso de los residuos alimenticios, se degrada rápidamente.

La degradación es moderada en los residuos de jardín, lenta para el papel, cartón, madera y textiles, y, prácticamente, nula para el plástico, piel y goma. Normalmente, se puede considerar que sólo los residuos alimenticios y de jardín y dos terceras partes del papel contenido en los residuos se degradan para generar biogás en el vertedero.

La FORSU experimenta un proceso de fermentación inicialmente aeróbico hasta que se agota el oxígeno y las condiciones pasan a ser anaeróbicas, produciéndose el biogás.

El gas generado, al difundirse a través de la masa de residuo, arrastra trazas de compuestos orgánicos y otros contaminantes gaseosos hasta la superficie del vertedero, produciendo emisiones que influyen en el efecto invernadero. No obstante, la captación de este biogás para su aprovechamiento energético o su uso como recurso en procesos de tecnologías avanzadas, permite eliminar los contaminantes atmosféricos peligrosos.

#### 2.3.1.2 Lodos o fangos de depuración de aguas residuales urbanas.

Los lodos o fangos de depuración constituyen el residuo semisólido resultante del proceso de depuración de las aguas residuales urbanas, por el cual se eliminan la mayor parte de los contaminantes disueltos y en suspensión contenidos en dichas aguas.

En general, los fangos están formados por los sólidos sedimentados del agua residual, el exceso de microorganismos producidos durante el tratamiento biológico, los productos sedimentados por coagulación natural o provocada de las partículas en suspensión o de carácter coloidal y los precipitados químicos formados por la reacción de los coagulantes con las partículas disueltas. Estos lodos, ricos en nutrientes (N, P y K), están constituidos, en algunos casos, por más del 60% de materia orgánica.

Los lodos son residuos que poseen una capacidad contaminante importante y, por tanto, también se requiere su tratamiento, siendo necesario en muchos casos su traslado. Algunas de las empresas inscritas en el registro de transportistas de residuos peligrosos (sin asumir la titularidad del residuo) de la CM, contemplan el transporte de lodos. El origen de estos residuos es muy variable, y en función de éste, las empresas son autorizadas para realizar su actividad con ellos.



### 2.3.1.3 Aguas residuales industriales.

El origen de las aguas residuales se encuentra en un amplio número de procesos industriales que emplean el agua para fines muy variados. Según Robert A. Corbitt (*Corbitt, 2003*), aproximadamente dos tercios del agua residual que se genera en la industria proviene de procesos de refrigeración. No obstante, el agua se emplea en prácticamente todos los procesos industriales, durante los cuales es alterada y su calidad degradada debido al aporte de nutrientes, sólidos en suspensión, bacterias, materia orgánica y en algunos casos elementos tóxicos.

Las aguas residuales industriales con elevada carga orgánica son susceptibles de ser utilizadas como substrato para la digestión anaeróbica. Sin embargo, la composición de los efluentes industriales es tan variable como su caudal y depende de las particularidades de cada industria. En términos generales, las aguas residuales industriales con mayor contenido en materia orgánica son las provenientes de la industria alimentaria (conservera, láctea, bebidas fermentadas y destiladas, carne y productos de avicultura, remolacha azucarera, levadura, café, pescado, arroz, panadería, caña de azúcar y aceites), farmacéutica, textil, industria de materiales (pulpa y papel, madera y productos petroquímicos) y química (detergentes y pesticidas) (*Nelson y Avijit, 1998*).

### 2.3.1.4 Residuos agrícolas y ganaderos.

Los residuos agropecuarios son una fuente importante de residuos de elevado potencial contaminante en Europa, y dentro de éstos, los residuos ganaderos constituyen el principal problema ambiental. Quizá esta sea una de las causas que favorece el hecho de que los residuos ganaderos se utilicen significativamente más que el resto de residuos agrícolas para la obtención de biogás.

**Los residuos agrícolas pueden ser de diversos tipos:** restos de poda y ramas de cultivos leñosos, plantas verdes y tallos de cultivos herbáceos, pajas de cereales de invierno, tallos y cascarillas de cereales de primavera, restos de frutas y hortalizas, residuos plásticos de invernaderos, substratos, residuos de productos fitosanitarios (pesticidas y fertilizantes), envases de productos fitosanitarios, aceites usados y envases que los han contenido, etc.

**Los residuos ganaderos,** por su parte, también son muy variados: mezcla de las deyecciones animales (sólidas y líquidas), restos de la cama, alimentos y agua en cantidades variables y con consistencia fluida o pastosa, antibióticos y otros medicamentos de uso veterinario, detergentes y envases de medicamentos de uso veterinario.



La intensificación de la actividad ganadera ha supuesto la producción de grandes volúmenes de residuos orgánicos con los consiguientes problemas de gestión y eliminación que se derivan. Así, las principales implicaciones ambientales se deben a la producción y gestión del purín.

*Los purines están constituidos principalmente por materia orgánica (65-75% en base seca), nitrógeno (4-6% medidos como nitrógeno elemental), fósforo (3,5-5,5% en términos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), potasio (2,5-4 % como K<sub>2</sub>O), magnesio (0,5-1,5%) y calcio (3,5-4 %). No obstante, la composición de los purines es muy heterogénea dependiendo de la especie, edad, tipo y sistema de alimentación, sistema de limpieza, estado sanitario y fisiológico del animal, etc.*

#### 2.3.1.5 Residuos orgánicos industriales.

Los residuos tratados en el apartado anterior son resultado de la producción agrícola y ganadera, pero es necesario considerar también los residuos orgánicos derivados de la industria alimentaria, pues son variadísimos y pueden llegar a ser muy importantes.

No obstante, su aprovechamiento para la producción de biogás es poco significativo por el momento. Así, por ejemplo, los residuos del tomate para enlatado constituyen de un 15 a un 30% de la cantidad total del producto elaborado; en el caso de los guisantes y el maíz esta proporción supera el 75%. Mediante el aislamiento de los residuos sólidos, la concentración de sustancias orgánicas solubles en las aguas residuales se reduce y aquellos pueden emplearse con mayor facilidad como subproductos, alimentos o combustible. Este es el caso de los lodos de alpechín, obtenidos tras la evaporación en balsas del alpechín, y el alperujo, subproductos de la extracción del aceite de oliva.

#### 2.3.1.6 Composición del biogás en función del sustrato.

Como se ha explicado con anterioridad, la riqueza del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. En la tabla 3 se muestran valores medios de composición del biogás en función del sustrato utilizado.

La producción de biogás para cada tipo de sustrato es variable en función de su carga orgánica y de la biodegradabilidad de la misma (Tabla 2). En general, los residuos orgánicos industriales y la FORSU presentan potenciales elevados de producción. Los residuos ganaderos y los lodos de depuradora presentan, sin embargo, potenciales menores, debido al relativamente bajo contenido en materia orgánica y a la baja biodegradabilidad de la misma.



No obstante, existen opciones que permiten mejorar la producción de biogás de estos residuos: mezcla con residuos de mayor producción potencial (codigestión), pretratamiento para mejorar la degradabilidad del sustrato, o aumento de la temperatura para mejorar la velocidad de crecimiento de los microorganismos y la eficiencia de la fase hidrolítica

**Tabla 2: Componentes del biogás en función del sustrato utilizado.**

<i>Componente</i>	<i>Residuos agrícolas</i>	<i>Lodos de depuradora</i>	<i>Residuos industriales</i>	<i>Gas de vertedero</i>
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-65%
Dióxido de carbono	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%
Sulfuro de hidrógeno	100-700 ppm	0-1%	0-8%	0,5-100 ppm
Amoniaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	Trazas
Nitrógeno	0-1%	0-3%	0-1%	0-20%
Oxígeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-5%
Compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm*

\* *terpenos, esteres...*

**Tabla 3: Producción de biogás en función de sustrato utilizado. (Coomb, 1990)**

<i>Tipo de residuo</i>	<i>Contenido orgánico</i>	<i>Sólidos volátiles (%)</i>	<i>Producción de biogás (m<sup>3</sup>/Tm)</i>
Purines de cerdo	Hidratos de carbono, lípidos y proteínas	3-5	10-20
Fangos residuales	Hidratos de carbono, lípidos y proteínas	3-4	17-22
Fangos residuales concentrados	Hidratos de carbono, lípidos y proteínas	15-20	85-110
FORSU separada en origen	Hidratos de carbono, lípidos y proteínas	20-30	150-240



### 2.3.2 Proceso de digestión anaeróbica.

La digestión anaeróbica es un proceso microbiológico que, en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno) permite transformar la materia orgánica en metano. Se compone de múltiples etapas en la que intervienen una población heterogénea de microorganismos. En la ilustración 3, se especifican cuatro rutas para la metabolización del carbono, no obstante el proceso completo se puede resumir en dos fases principales:

-una primera hidrolítica fermentativa: los polímeros orgánicos son metabolizados mediante hidrólisis y fermentación microbiana en una mezcla de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico, valérico, láctico...), carbónico e hidrogeno.

-una segunda metanogénica: encadenada con la primera, se transforman los productos finales de la misma en metano y dióxido de carbono, mediante las bacterias metanogénicas que son anaeróbicas estrictas.

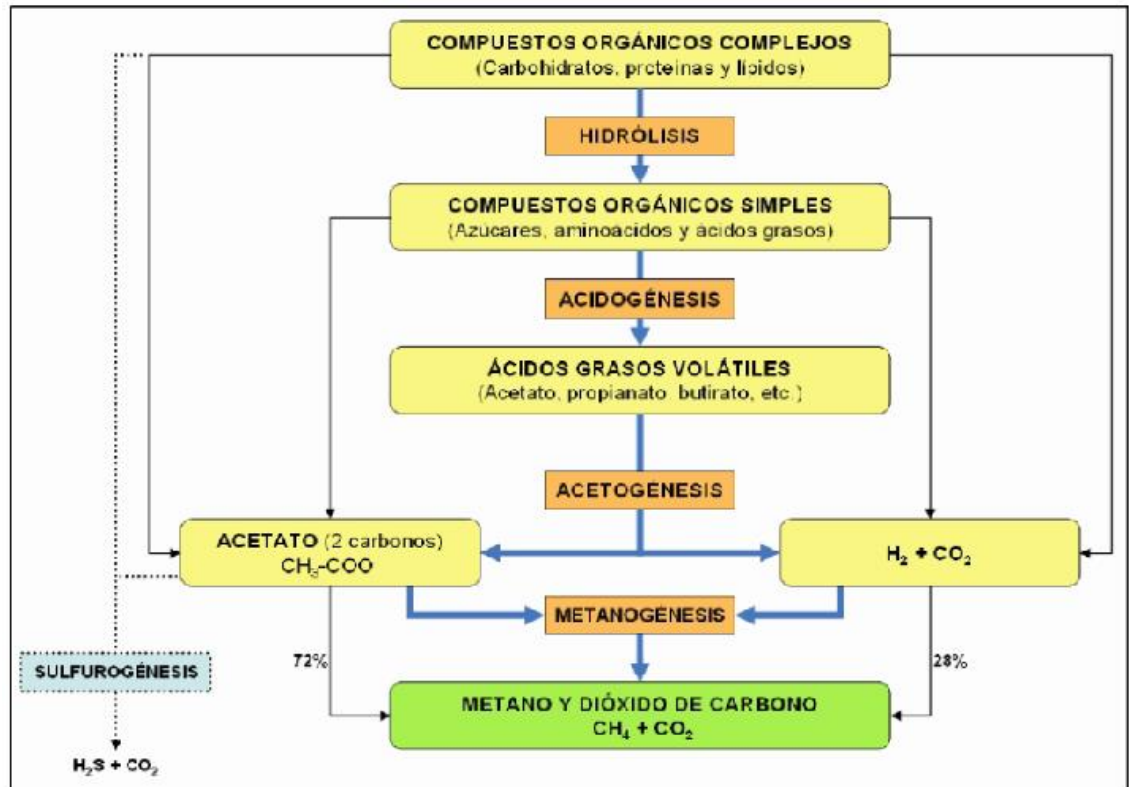


Ilustración 3: Fases de la digestión anaerobia.

En general, la puesta en marcha de los digestores es lenta y requiere tiempos que pueden ser de meses, dependiendo del tipo de sustrato a digerir, lo que representa unos costes adicionales a la propia inversión de los equipos que deben contemplarse a la hora de la evaluación económica de las instalaciones de biogás. Por ello en la mayoría de los casos se recurre a la “siembra del digestor” mediante la incorporación de digestatos provenientes de instalaciones de digestión en funcionamiento.

Así mismo en los casos de digestores agroindustriales donde no se utilicen como sustratos los estiércoles o purines, que ya tienen bacterias metanogénicas, es preciso incorporar dichos subproductos ganaderos para que haga de estarter del proceso de biodigestión.

Por otra parte, la velocidad del proceso también estará limitada por la etapa más lenta, bien la hidrolítica o la metanogénica, que depende de la composición intrínseca de cada sustrato. Para sustratos solubles, la fase limitante suele ser la metanogénesis, mientras que en los casos donde la materia orgánica está en forma “insoluble”, la fase limitante es la hidrólisis.

Por ello una de las estrategias utilizadas para aumentar la velocidad del proceso es someter el sustrato a un pretratamiento, reseñados en el apartado.





### 2.3.2.1 Parámetros ambientales y operacionales.

Los parámetros ambientales que hay que controlar hacen referencia a condiciones que deben mantenerse o asegurarse para el desarrollo del proceso. Estos son:

**-pH:** La digestión anaerobia se desarrolla en condiciones óptimas a un pH de 7,0 -7,2 pudiendo tener una fluctuación entre 6,5 y 7,5.

**-Alcalinidad:** Los substratos de la industria agroalimentaria y sobre todo los estiércoles y purines del sector ganadero presentan un poder tampón alto, debido a la presencia de compuestos disociados como bicarbonatos, carbonatos, amoníaco, ácidos orgánicos etc. No obstante, en general, no es preciso efectuar correcciones de pH para ajustarlo a los parámetros óptimos de funcionamiento del proceso de digestión anaerobia.

**-Potencial redox,** con valores recomendables inferiores a -350 mV.

**-Ácidos volátiles,** Un síntoma típico de mal funcionamiento de los digestores es el aumento de la concentración de los ácidos volátiles en el efluente. La inestabilidad del 10 proceso puede estar relacionada con una sobrecarga orgánica del digestor, una entrada de elementos tóxicos, inhibidores en el efluente o una variación de temperatura. Un gran aumento de ácidos hará reducirse el pH que inhibirá progresivamente a las bacterias metanogénicas hasta bloquear completamente el proceso anaerobio.

**-Nutrientes** Una de las ventajas inherentes al proceso de digestión anaerobia es su baja necesidad de nutrientes como consecuencia de su pequeña velocidad de crecimiento. No obstante, resulta fundamental para la estabilización del proceso que la relación C/N se mantenga entre 20/1 y 30/1 y la relación N/P más adecuada es de entre 1/5 y 1/7.



- **Elementos tóxicos** Diferentes metales, el ión amonio y especialmente los metales pesados, llegan a ser tóxicos cuando alcanzan una cierta concentración en el sustrato. Estas concentraciones están comprendidas entre los siguientes valores:

Na..... 3.500 – 5.500 ppm

K..... 2.500 – 4.500 ppm

Ca ..... 2.500 – 4.500 ppm

Mg ..... 1.000 – 1.500 ppm

NH<sub>4</sub>..... 1.500 – 3.500 ppm

Los parámetros operacionales hacen referencia a las condiciones de trabajo de los reactores:

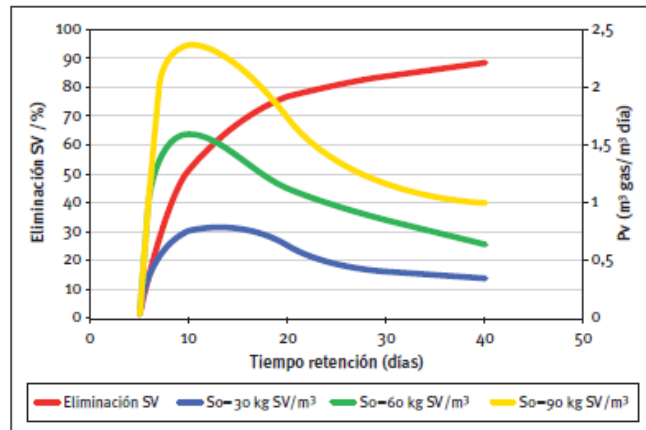
-**Temperatura** En función de la temperatura óptima de crecimiento, los microorganismos se clasifican en: psicrófilos (temperatura óptima de crecimiento inferior a 30°C); mesófilos (óptimo de crecimiento entre 30 y 45°C); termófilos (su temperatura óptima es superior a los 45°C y generalmente entre 50 y 60°C). Como consecuencia de este crecimiento específico de los microorganismos se pueden distinguir las fermentaciones psicrófila, mesófila y termófila. La operación en el rango mesófilo es el de mayor difusión.

-**Agitación.** En función de la tipología de reactor debe transferirse al sistema el nivel de energía necesario para favorecer la transferencia de sustrato a cada población o agregados de bacterias, así como homogeneizar para mantener concentraciones medias bajas de inhibidores.

- **Tiempo de retención.** Es el cociente entre el volumen y el caudal de tratamiento, es decir, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos. En la ilustración 5 se indica la tendencia general de los índices de eliminación de materia orgánica (expresada en forma de sólidos volátiles, SV) y de producción específica de gas, por unidad de volumen de reactor, en función del tiempo de retención. Notar que existe un tiempo mínimo por debajo del cual el reactor no presenta actividad, que la eliminación de materia orgánica



sigue una tendencia asintótica, con una eliminación completa a tiempo infinito, y una producción de gas por unidad de volumen de reactor con un máximo para un tiempo de retención correspondiente a una eliminación de sustrato entre el 40 y el 60%.



**Ilustración 4: Eliminación de sólidos volátiles, SV (%) y producción volumétrica de gas Pv ( $m^3$  biogás/ $m^3$  dig·día) para un reactor anaerobio continuo de mezcla completa, en función del tiempo de retención hidráulico.**

**Fuente: GIRO.**

### 2.3.2.2 Pretratamiento del sustrato en la producción de biogás de digestores. Biogás agroindustrial.

La materia orgánica constituye el sustrato de estos microorganismos que realizarán la fermentación anaeróbica.

Además de homogeneizar la mezcla de sustratos que posteriormente serán introducidos en el digestor, la aplicación de unos pretratamientos adecuados, mejorará el rendimiento de la digestión anaerobia, aumentando la producción y a calidad del biogás, reduciendo los tiempos de retención, higienizando los subproductos (según los casos) y creando unas condiciones óptimas para el crecimiento microbiano.



En general, los pretratamientos facilitan la liberación del carbono de la materia orgánica contenida en el sustrato, aumentan la superficie específica de la materia y solubilizan y degradan la mezcla.

Tipos de pretratamientos:

- **Mecánicos:** el principio básico de funcionamiento de los pretratamientos mecánicos es el de trituración y homogeneización de la mezcla. Con este tipo de tratamientos se logra una reducción del tamaño de las partículas y un incremento de la superficie específica disponible para las bacterias. Se suele aplicar sobre materiales de origen estructural, difíciles de degradar (celulosa, lignina...), como por ejemplo en los residuos obtenidos de la recolección de los cereales.

- **Térmicos:** este tipo de procesos están basados en la higienización de los materiales tratados, con temperaturas comprendidas entre 60 a 70 °C, favoreciendo la etapa de hidrólisis e incrementando la producción de biogás.

El ejemplo más claro de este tipo de pretratamientos es el de la pasteurización. Se suelen emplear en residuos de mataderos (harinas de carne, estómagos), residuos de la industria alimentaria (procesado de alimentos, pescado) y lodos de industrias alimentarias.

Otros tipos de pretratamientos térmicos existentes, son el tratamiento térmico a alta temperatura (133 °C y altas presiones) y la inyección rápida de vapor (usado fundamentalmente en lodos).

- **Biológicos:** algunos de los tratamientos biológicos más representativos son los tratamientos fúngicos, ensilado y tratamientos enzimáticos, que se realizan sobre restos de cereales, de maíz...

Los tratamientos enzimáticos, aprovechan la actividad metabólica de algunas enzimas hidrolíticas, para degradar parcialmente los sustratos.

El ensilado es un proceso fermentativo que permite la conservación de sustratos vegetales a lo largo del año. Se produce ácido láctico, que disminuye el pH, lo que impide otras fermentaciones espontáneas.



### 2.3.3 Tecnología de la digestión anaeróbica.

Dependiendo del tipo de residuo a tratar los sistemas de digestión anaeróbica para la producción de biogás pueden ser diferentes. No obstante, se pueden dividir inicialmente en dos grupos:

- **Sistemas de tratamiento de residuos (FORSU, fangos de depuradora y residuos ganaderos).**
- **Sistemas para el tratamiento de aguas residuales.**

El tiempo de retención hidráulica en un digestor es uno de los factores más importantes para el control de los sistemas de digestión anaerobia y representa el cociente entre el volumen del digestor y el caudal alimentado al mismo.

El tiempo de retención hidráulico es elevado en los sistemas de digestión anaeróbica de la FORSU, los fangos procedentes de la depuración de las aguas residuales y los residuos ganaderos, ya que la degradación de estos residuos necesita tiempos de digestión largos. Por esta razón, estos procesos se denominan de baja velocidad. En este caso, el tiempo de retención de los sólidos coincide con el tiempo de retención hidráulico.

En los sistemas que se utilizan habitualmente en el tratamiento de las aguas residuales, sin embargo, el tiempo de retención hidráulico es relativamente corto, por lo que se denominan digestores de alta velocidad. La característica común a estos sistemas es la retención de la biomasa dentro del reactor, de manera que el tiempo de retención de los sólidos es mucho mayor que el tiempo de retención hidráulico, por lo que se consigue aumentar la eficacia del proceso.

Por otra parte, dentro de las tecnologías de digestión anaeróbica se debe considerar la **codigestión** de diferentes tipos de sustratos orgánicos, ya que permite aprovechar la sinergia de las mezclas de diferentes sustratos, así como compensar las carencias de cada uno de los sustratos por separado. Asimismo, cuando el sustrato orgánico presenta una baja biodegradabilidad es necesario un **pretratamiento de la materia prima** para optimizar la producción de biogás.



### 2.3.3.1 Sistemas para el tratamiento de FORSU, fangos de depuradora y residuos ganaderos.

Los sistemas para la degradación de residuos sólidos en ausencia de oxígeno pueden clasificarse en función de la configuración del sistema (una o dos etapas), la temperatura de operación (mesofílica o termofílica), el régimen de operación del digestor (continuo o discontinuo), y, por último, según el porcentaje de sólidos totales (ST) en el residuo orgánico (sistemas de fermentación húmeda o seca).

La configuración de los sistemas de digestión anaeróbica de residuos orgánicos puede constar de uno o varios digestores que operan en serie. En el primer digestor se llevan a cabo las etapas de hidrólisis y acidificación, mientras que en el segundo tiene lugar la etapa de metanogénesis. Con esta configuración las condiciones de operación de ambos digestores se optimizan para cada etapa. En este sentido, los sistemas formados por dos etapas presentarían ventajas importantes en el tratamiento de los residuos sólidos, ya que se obtendría una degradación mejor y más rápida de la materia orgánica.

Sin embargo, esto no se ha podido confirmar a escala industrial y el 90% de la capacidad mundial de producción de biogás a partir de FORSU consiste en un único digestor en el que tienen lugar todas las etapas de la degradación anaeróbica (*De Baere, 2000*).

Asimismo, la digestión anaeróbica puede llevarse a cabo a temperaturas de operación mesofílicas (35-40°C) o termofílicas (50-55°C). Las plantas que operan a temperaturas mesofílicas han sido siempre las más habituales, No obstante, el número de sistemas de temperatura termofílica ha aumentado significativamente en los últimos años. En el año 2006 las capacidades de producción mundiales de los sistemas que operan a temperatura mesofílica y termofílica a partir de FORSU fueron 2.500.000 (66%) y 1.300.000 toneladas/año (34%), respectivamente.

Los biodigestores continuos operan en régimen estacionario, lo que significa que la corriente de entrada (alimento) entra de forma continua al sistema sin interrupción, a la vez que las corrientes de salida (efluente y biogás) son retirados de igual modo.

Los digestores discontinuos, sin embargo, operan en régimen no estacionario. En este caso, se carga inicialmente el residuo sólido e inóculo, se cierra el digestor, se lleva a las condiciones óptimas de trabajo, se espera un cierto tiempo mientras se produce la degradación y se descarga una vez que ha finalizado la generación de gas combustible. A nivel mundial, los digestores continuos son los más comunes.



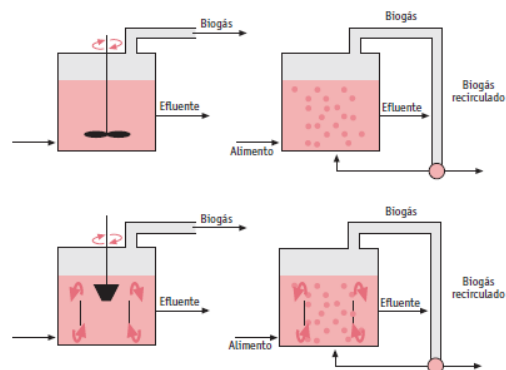
En la digestión húmeda se diluye el residuo hasta una concentración máxima del 15% en ST, aunque lo habitual es que la concentración de ST esté comprendida entre 7 y 12%. En la digestión seca se trabaja con residuos con una concentración de ST superior al 15%, siendo el intervalo frecuente del 20-40%. Tomando como referencia la degradación anaeróbica de la FORSU en el año 2006, los sistemas de degradación seca supusieron el 55% de la capacidad de producción mundial de biogás y la fermentación húmeda el 44% (*De Baere, 2006*).

Como se verá a continuación, lo más habitual es que la FORSU y determinados residuos ganaderos puedan utilizarse en los mismos reactores de digestión anaeróbica, aunque con ciertas modificaciones. No obstante, en algunos casos, los sistemas para la degradación anaeróbica de la FORSU, los lodos procedentes de la depuración de aguas residuales y los residuos ganaderos son también comparables, como es el caso del digestor continuo de mezcla perfecta, en el que se pueden utilizar los tres tipos de residuos orgánicos.

#### 2.3.3.1.1 Tipos de digestores.

##### 2.3.3.1.1.1 Digestor continuo de mezcla perfecta.

Es el sistema más común en la fermentación húmeda. Opera en régimen estacionario y consiste en un tanque en el que se mantiene una distribución uniforme de concentraciones, tanto de sustrato como de microorganismos. Esto se consigue mediante un sistema de agitación adecuado, que puede ser mecánico (agitador de hélices o palas) o neumático (mediante la recirculación del biogás generado). En la ilustración 5 se representan estos biorreactores con diferentes sistemas de agitación.



**Ilustración 5: Digestores continuos de mezcla perfecta.**

El tiempo de retención varía en función de la naturaleza del sustrato y de la temperatura, pero generalmente está comprendido entre 2 y 4 semanas. Este tipo de reactores generalmente se usa para el tratamiento de residuos ganaderos con un porcentaje de ST de 2-10% y de la FORSU con concentración máxima de ST del 15%. En las plantas depuradoras de aguas residuales también se emplea en el tratamiento anaeróbico de los fangos debido a las bajas concentraciones de materia orgánica.

### 2.3.3.1.1.2 Digestor continuo de flujo pistón.

También se utiliza en la degradación anaeróbica de residuos orgánicos. Consiste en un tubo longitudinal en el que el alimento recorre el digestor de un extremo al otro manteniendo un flujo ordenado, sin mezcla, siguiendo el modelo de un pistón en un cilindro (figura 7). Al igual que el digestor de mezcla perfecta, este sistema opera en régimen estacionario. Sin embargo, en este caso, las etapas anaeróbicas, como la hidrólisis y la metanogénesis, se llevan a cabo en secciones diferentes a lo largo de la longitud del tubo. No obstante, una de las dificultades de estos digestores es la falta de homogeneización en la sección transversal del flujo, lo que se puede solucionar mediante un sistema de agitación. En la ilustración 6 se esquematizan las tres configuraciones del biodigestor continuo de flujo pistón con mayor implantación a nivel mundial.

Los digestores discontinuos se utilizan frecuentemente para la fermentación seca de la FORSU con concentración entre el 20 y 40% de ST, así como en el tratamiento de residuos ganaderos con una alta fracción de partículas sólidas suspendidas

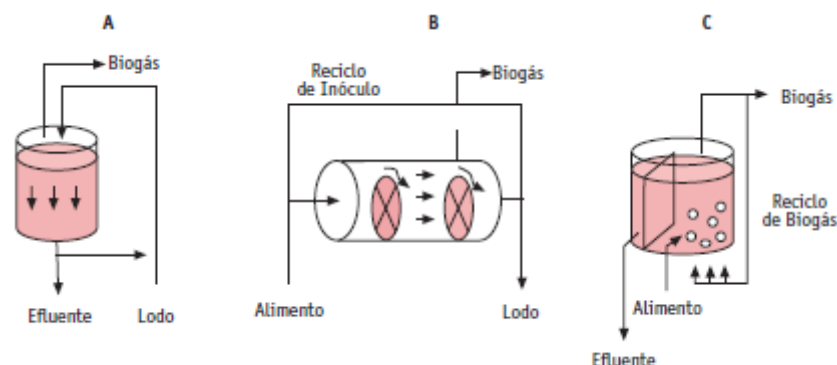


Ilustración 6: Digestores continuos de flujo pistón.

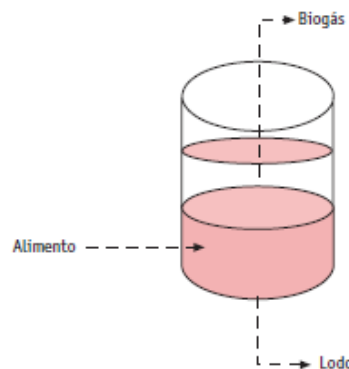




### 2.3.3.1.1.3 Digestor discontinuo.

Por otra parte, el **digestor discontinuo** puede ser rectangular o cilíndrico y opera en régimen no estacionario (ilustración 7). Las etapas de la digestión anaeróbica ocurren a diferente velocidad en el digestor discontinuo.

Estos digestores se utilizan principalmente en el tratamiento de los residuos orgánicos con elevada concentración en sólidos, ya que estos dificultan la utilización de los sistemas de bombeo necesarios en los sistemas continuos. Por ello, se utilizan en el tratamiento de determinados residuos ganaderos y, en menor medida, en el tratamiento de la FORSU.



**Ilustración 7: Digestor discontinuo.**

**Por otra parte, los reactores anteriores pueden combinarse** para conseguir sistemas de degradación anaeróbica más eficientes en función del tipo de residuo. Como ya se ha comentado, la concepción de los sistemas de dos o más fases está basada en el hecho de que los distintos grupos de bacterias involucradas en el proceso de descomposición de la materia orgánica requieren diferentes condiciones de pH y tiempo de retención para su crecimiento óptimo. Ello implica la realización de las fases que constituyen el proceso de digestión en diferentes reactores. Así, en el primer reactor ocurre la hidrólisis y acidogénesis de la materia orgánica, mientras que en el segundo se lleva a cabo la acetogénesis y metanogénesis del material acidificado. En el primer reactor, la velocidad de reacción viene determinada por la velocidad de hidrólisis de la celulosa y en el segundo por la velocidad de crecimiento microbiano. Este tipo de sistemas ha sido aplicado con éxito a la digestión de residuos con alta concentración de azúcares y bajo contenido en sólidos, pero no para residuos y fangos complejos cuyo limitante es la etapa de hidrólisis.

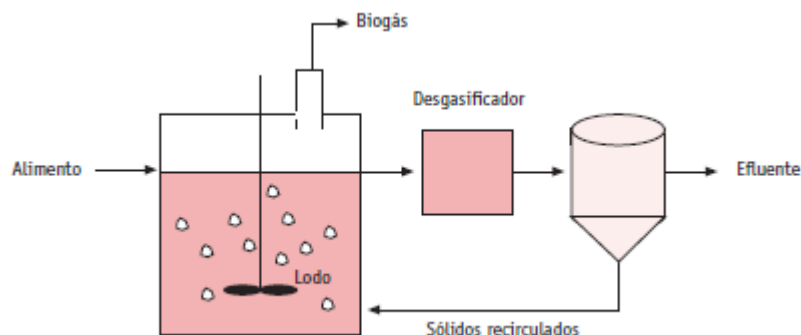
### 2.3.3.2 Sistemas de tratamiento para aguas residuales.

Como se comentó con anterioridad, los procesos de degradación anaeróbica se utilizan generalmente en el tratamiento de las aguas residuales de origen industrial que presentan valores elevados de DBO.

En la actualidad, existen diversos sistemas utilizados para el tratamiento biológico anaeróbico de la materia orgánica contenida en las aguas residuales: el digestor de contacto anaeróbico, el digestor de filtro anaeróbico, el digestor de capa de lodo anaeróbico con flujo ascendente y el digestor de circulación interna. Todos ellos son sistemas de digestión de alta velocidad, es decir, el tiempo de retención de los sólidos es mayor que el correspondiente tiempo de retención hidráulico. Los sistemas de alta velocidad resultan más adecuados para aguas residuales, ya que contienen concentraciones bajas de sólidos.

#### 2.3.3.2.1 Digestor de contacto anaeróbico.

Es un sistema de cultivo en suspensión que emplea una unidad de separación de sólidos por sedimentación (o filtración) para recircular los microorganismos. En los digestores es importante que tenga lugar una buena mezcla del substrato a descomponer y de los lodos recirculados que contienen los microorganismos para favorecer la acción de estos últimos. Esto se consigue mediante agitación mecánica o recirculación del biogás. La importancia de esta agitación aumenta con el tamaño del digestor, ya que cuanto mayor es el mismo, más posibilidades hay de que aparezcan zonas de no contacto en las que no tenga lugar la degradación. El efluente procedente del digestor se desgasifica y se introduce en la unidad de decantación en la que se separan los lodos, que se recirculan a la unidad de digestión, introduciéndose por el fondo. La eficiencia del proceso depende fundamentalmente de que haya una buena sedimentación.

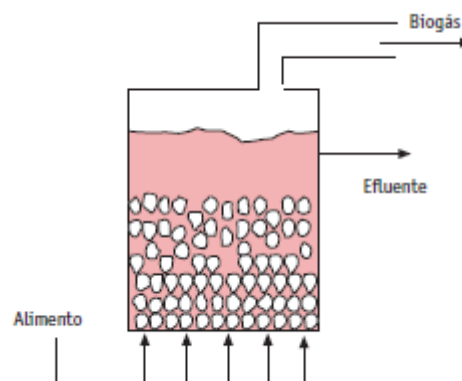


**Ilustración 8: Diagrama de un sistema de contacto anaeróbico.**



### 2.3.3.2.2 *Digestor de filtro anaeróbico.*

Soporte encargado de que sobre él se fijen los microorganismos. Los soportes más utilizados actualmente son de tipo plástico (poliuretano y PVC) o silicatos (vermiculita, bentonita y sepiolita). Los filtros anaerobios permiten altas sobrecargas sin disminución apreciable en su eficacia. El inconveniente es que no toleran apenas sólidos en suspensión que colmatan la matriz, siendo sólo adecuados para residuos solubles y bastante diluidos.



**Ilustración 9: Digestor anaeróbico de filtro.**

### 2.3.3.2.3 *Digestor de película fina.*

Sistema parecido al filtro anaerobio, pero en este caso el material inerte está constituido por placas paralelas fijas y en el que el flujo es descendente. De esta forma se previenen los peligros de colmatación y de formación de vías preferenciales que se presentan en los filtros ascendentes. Puede trabajar con altas cargas, tanto hidráulicas como de concentración de sólidos y residuos diluidos.

### 2.3.3.2.4 *Lecho de lodos. (UASB).*

En este sistema el incremento de la población bacteriana dentro del digestor se basa en proporcionar a los lodos las características físico-químicas más adecuadas para favorecer la floculación y coagulación de los mismos sin necesidad de intervención de ningún tipo de soporte.

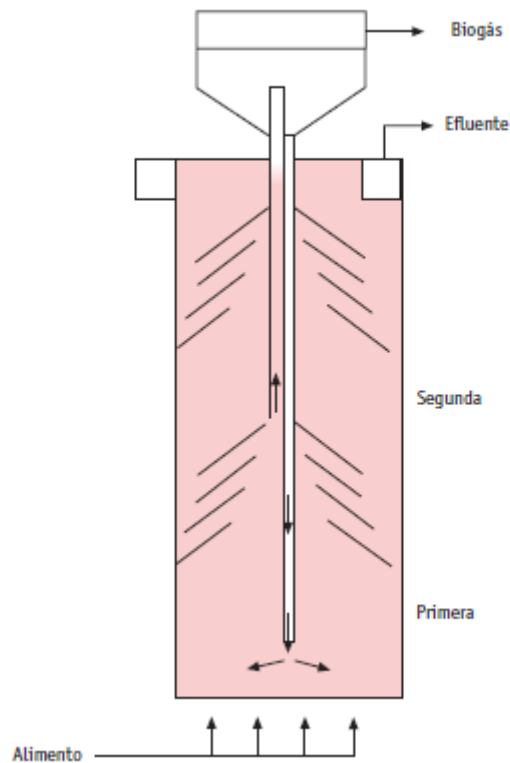


El digestor tiene un lecho de lodo floculado o granulado en el fondo, previsto para que permita el movimiento ascendente del influente a su través y actúe como filtro de la biomasa. La agitación se produce, durante la ascensión del biogás a través de toda la masa del digestor al liberarse el gas de los flóculos.

#### *2.3.3.2.5 Reactor IC.*

Por último, el reactor IC (Internal Circulation) o reactor de circulación interna, está basado en la tecnología del proceso UASB con dos etapas de separación trifásica. El sistema consta de dos etapas tipo UASB colocados uno sobre el otro, como se puede observar en la Figura 10. En el compartimento inferior la concentración de materia orgánica es elevada, mientras que en la superior es pequeña. El afluente se introduce en el primer compartimento por la base del sistema a través de un sistema de distribución interno. En el compartimento inferior, que contiene un manto concentrado y expandido de lodo granular, la mayor parte de la materia orgánica se convierte en biogás. Esto provoca la expansión/fluidización del lecho de lodo que se eleva por la velocidad ascendente provocada por la mezcla del afluente, la recirculación interna y el flujo del biogás. El contacto que se realiza entre el agua residual y la biomasa produce un lodo muy activo, que tiene la capacidad de tratar elevadas concentraciones de materia orgánica con elevada conversión. El biogás producido en esta primera etapa se recoge en los colectores de gas inferiores, empleándose para promover el ascenso del agua residual tratada y el lodo a través de una tubería central ascendente que termina en el tanque desgasificador situado en la parte alta del sistema.

El biogás sale del digestor y la mezcla de agua tratada y el lodo desciende directamente al fondo del digestor por una tubería central descendente equivalente a la anterior. El efluente de la primera etapa se dirige a la segunda, donde se mejora la eficacia del proceso, degradándose el resto de la materia orgánica. El biogás producido en la segunda etapa se recoge en los colectores superiores, mientras que el efluente tratado abandona el reactor por rebose.



**Ilustración 10: Diagrama de un reactor de tipo IC.**

#### *2.3.3.2.6 Efectos de los tipos de digestores en el proceso de metanización.*

El desarrollo de las tecnologías de fermentación detalladas anteriormente, han tenido como objetivo prioritario incrementar la carga microbiana en el digestor, con lo que se consigue reducir los tiempos de retención hidráulica e incrementar la carga de carbono en el influente a digerir.

En la siguiente tabla se recogen los intervalos de estos parámetros, para los distintos tipos de digestores de alimentación en continuo y que se pueden agrupar en las tres grandes categorías siguientes: digestores de mezcla total, digestores de contacto y digestores de filtro anaeróbico.



**Tabla 4: Parámetros de fermentación en tres tipos de digestores.**

PARAMETROS	UNIDADES	TIPOS DE DIGESTORES		
		Mezcla Completa	Contacto	Película fija
Carga aplicada	gr /litro digestor	2 a 3	4 a 6	10 a 12
Producción biogás	l /litro digestor	1,0 a 1,5	2,0 a 2,5	5,0 a 6,0
Lodos en reactor	gr / litro digestor	3 a 15	20 a 30	60 a 90

Este desarrollo tecnológico en el diseño de los digestores ha permitido mejorar los rendimientos en producción de biogás y disminuir los tiempos de retención hidráulica con el consiguiente abaratamiento de los digestores al disminuir su tamaño. No obstante, dependiendo de las características intrínsecas del influente a digerir, especialmente en lo relacionado con su concentración de sólidos, se deberá en cada caso seleccionar la tecnología de digestión más adecuada.

## 2.4 CO-DIGESTIÓN anaerobia.

La coexistencia de diversas tipologías de residuos en una misma área geográfica posibilita la gestión integrada de residuos de diversos orígenes.

Los residuos ganaderos son, en la mayoría de países, los residuos orgánicos que se producen en mayor cantidad (en España se producen del orden de cincuenta y dos millones de toneladas de purines) y la digestión anaerobia es un proceso idóneo para llevar a cabo el tratamiento de estos residuos. Respecto a este proceso, el Plan de Energías Renovables en España 2005-2010 indicaba que *“el empleo de tecnologías de digestión anaerobia para el tratamiento de los residuos de la actividad agro-industrial debería suponer en un futuro cercano una de las mayores áreas de expansión de esta actividad en nuestro país. El empleo del secado de este tipo de residuos, y en especial de los purines, a partir de la combustión de gas natural, es poco eficiente desde el punto de vista energético y económico, por lo que debería convertirse en una prioridad al conseguir que en un corto plazo se produzca un cambio hacia un mayor empleo de la digestión anaerobia en estas aplicaciones”*.



Sin embargo, la producción de metano que se obtiene en el proceso no es muy elevada: 11,8 m<sup>3</sup> CH<sup>4</sup>/t residuo (347 m<sup>3</sup> CH<sup>4</sup>/t SV) con purín de porcino, 17,7 m<sup>3</sup> CH<sup>4</sup>/t residuo (196 m<sup>3</sup> CH<sup>4</sup>/t SV) con purín de vacuno y 54,4 m<sup>3</sup> CH<sup>4</sup>/t residuo (272 m<sup>3</sup> CH<sup>4</sup>/t SV) con gallinaza (Flotats y Sarquella, 2008).

**Para aumentar la producción de biogás es factible añadir otros residuos biodegradables a los residuos ganaderos, tales como residuos orgánicos agroindustriales (co-digestión).** La principal ventaja de la co-digestión radica en el aprovechamiento de la sinergia de las mezclas, compensando las carencias de cada uno de los sustratos por separado. Además de incrementar el potencial de producción de biogás, la adición de co-sustratos fácilmente biodegradables confiere una estabilidad adicional al sistema. Este efecto puede deberse a un aumento en la biomasa activa resultando en una mayor resistencia a fenómenos de inhibición.

También las partes inorgánicas de algunos de estos co-sustratos, como es el caso de las arcillas y compuestos de hierro, han mostrado un efecto positivo frente a los procesos de inhibición por amonio o sulfhídrico.

Además, unifica la gestión de estos residuos al compartir instalaciones de tratamiento, reduciendo los costes de inversión y explotación.

En la tabla 5 se indican las características relativas para la co-digestión. Flechas de sentidos diferentes indican un posible interés en la mezcla, al compensarse la carencia relativa de uno de los dos residuos. La alcalinidad de lodos de planta depuradora presenta tal variabilidad que es difícil su caracterización relativa.

La co-digestión no debe esconder prácticas de dilución de contaminantes, tales como metales pesados. El control de la calidad de los residuos de entrada a una planta de co-digestión colectiva es más factible que en una planta individual en una granja, donde el ganadero tendrá siempre dificultad en disponer de equipos de laboratorio para realizar comprobaciones rutinarias de composiciones de entrada. Este puede ser un limitante a considerar en un escenario de plantas de co-digestión individuales, a no ser que se restrinja la tipología de residuos a entrar en estas plantas.

Tabla 5: Caracterización relativa para la co-digestión de diferentes residuos orgánicos.

Fuente: GIRO.

	Residuos ganaderos	Lodos depuración	FORM	Residuos industria alimentaria
Micro y macronutrientes	↑	↑	↓	↓
Relación C/N	↓	↑ ↓	↑	↑
Capacidad tampón (alcalinidad)	↑		↓	↓
Materia orgánica biodegradable	↓	↑ ↓	↑	↑

A continuación, se recoge información sobre el estado de conocimiento tecnológico (tipo de reactor, temperatura de operación, usos de biogás y digestato, etc.) de la co-digestión anaerobia de residuos ganaderos y residuos agroindustriales.

Los residuos ganaderos considerados son, principalmente, purín de cerdo y de vacuno. Respecto a los residuos agroindustriales, estos se han dividido en los siguientes grupos:

- Residuos de la industria aceitera: Alperujo
- Residuos de cultivos de huerta: Cortezas de naranja y residuos de remolacha
- Cultivos energéticos: Residuos de colza, residuos de girasol, residuos de maíz
- Residuos animales: Residuos pesqueros, residuos de animales procedentes de matadero
- Residuos de la industria láctea: Lodos lácteos
- Residuos de la fabricación de biodiesel: Glicerina





En la tabla 6 se recogen datos estimados sobre potenciales de producción de biogás de algunos de los residuos testados en las plantas de Dinamarca. Basándose en estos datos, un aprovechamiento del 50% podría aportar una contribución de 2,7 Mtep/año al balance energético nacional. Este es un valor elevado teniendo en cuenta que el tamaño de muchas granjas no permite una economía de escala, pero hace notar el interés de estudiar a fondo la viabilidad de la implantación y sobre todo si tratamientos colectivos y la co-digestión pueden propiciar escenarios favorables.

**Tabla 6: Potenciales de producción de biogás de algunos residuos orgánicos de la industria alimentaria y de la fracción orgánica de residuos municipales.**

Tipo	Contenido orgánico	SV (%)	Producción biogás (m <sup>3</sup> /t residuo)
Intestinos + contenidos	Hidratos de carbono, proteínas, lípidos	15-20	50-70
Fangos de flotación	65-70% proteínas, 30-35% lípidos	13-18	90-130
BBO (tierras filtrantes de aceites, con bentonita)	80% lípidos, 20% otros orgánicos	40-45	350-450
Aceites de pescado	30-50% lípidos	80-85	350-600
Suero	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	7-10	40-55
Suero concentrado	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	18-22	100-130
Hidrolizados de carne y huesos	70% proteínas, 30% lípidos	10-15	70-100
Mermeladas	90% azúcares, ácidos orgánicos	50	300
Aceite soja/ margarinas	90% aceites vegetales	90	800-1.000
Bebidas alcohólicas	40% alcohol	40	240
Fangos residuales	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	3-4	17-22
Fangos residuales concentrados	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	15-20	85-110
FORSU separada en origen	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	20-30	150-240



### 2.4.1 Co-digestión de residuos ganaderos y residuos de la industria aceitera.

Uno de los principales residuos de la industria aceitera es el alperujo, generado en el proceso de obtención del aceite de oliva en las almazaras mediante el procedimiento de centrifugación en dos fases. Es una mezcla de alpechines (fase líquida), restos de aceituna (hueso, mesocarpo y piel) y restos grasos.

El alto contenido en materia orgánica (lípidos, principalmente) de estos residuos afecta negativamente al proceso de digestión anaerobia, haciéndolo inestable debido al bajo contenido en nitrógeno y a las altas concentraciones de compuestos aromáticos presentes (polifenoles), además de a la baja alcalinidad del residuo. Una solución a este problema es la co-digestión con otros residuos.

No se han encontrado experiencias a escala de laboratorio sobre co-digestión de alperujo, pero sí se ha utilizado alpechín en co-digestión anaerobia.

Experimentalmente se ha comprobado que la co-digestión de alpechín con purín de porcino es un método económicamente rentable al no ser necesario el aporte de nutrientes o la adición de reactivos químicos para mejorar la capacidad tampón del sistema (Angelidaki et al., 1997b). Sin embargo, es necesario conocer la cantidad óptima de purín para realizar la co-digestión de forma efectiva. Un modelo cinético desarrollado para el proceso de co-digestión de mezclas de alpechín y purín de cerdo establece que el proceso resulta estable cuando se tratan mezclas que contienen entre el 10-25% de purín.

#### Como conclusión podemos determinar:

- Actualmente, el proceso de co-digestión anaerobia con alperujo no ha sido desarrollado a escala industrial.
- Investigaciones realizadas a escala de laboratorio indican que una proporción purín: alperujo de 75:25 es la óptima para la co-digestión de estos dos tipos de residuos.



## 2.4.2 Co-digestión de residuos ganaderos y residuos hortofrutícolas.

Los restos de frutas y vegetales se generan en grandes cantidades tanto en mercados como en industrias transformadoras, como, por ejemplo, la industria de los zumos. La composición de estos residuos (altas concentraciones de grasa/aceites, azúcar o proteínas) hace que tengan un alto potencial para producir metano, pero debe ser usados con cuidado, alimentándolos al proceso a un ritmo controlado.

Se han realizado estudios a escala de laboratorio sobre el proceso de codigestión de purín de cerdo y residuos de fruta (sobre todo de pera y manzana). El estudio se realizó a escala de laboratorio en reactores de mezcla completa de 11 L, en rango mesofílico (37°C) y con un tiempo de residencia hidráulico de 16 horas (Ferreira et al., 2007). Los resultados muestran que las producciones más elevadas de biogás se alcanzaron cuando se emplearon mezclas con un contenido en residuos de frutas entre el 10 y el 15% (v/v), lo que corresponde a 1,50 y 2,95 kg SV/m<sup>3</sup>·día. Cuando el contenido en residuo de fruta de la mezcla fue del 10%, la producción de biogás resultó menor (12,11 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de mezcla) pero el contenido en metano del mismo fue muy alto (69%). Con mezclas con un 15% de residuo de fruta, la producción de biogás aumentó (22,79 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de mezcla) pero el contenido en metano resultó más bajo (58%).

Existen algunas plantas que operan a escala industrial en las que se codigieren residuos ganaderos con restos de residuos vegetales y frutas, siendo los restos de patatas los residuos agroindustriales que más se utilizan. En la tabla 7 se reúne la información obtenida sobre dichas plantas:



**Tabla 7: Plantas industriales de biometanización que co-digieren residuos ganaderos y residuos hortofrutícolas**

Fuente: PROBIOGÁS.

Planta	Descripción
Miralcamp (Lérida-España)	Purín de cerdo Co-sustratos: aceite de soja, fangos depuradoras agroindustriales, residuos de mermeladas y residuos de patata Reactor CSTR de 1360 m <sup>3</sup> 50 t mezcla/día (3,5% m.s.), TRH de 30 días, 35°C 40 m <sup>3</sup> biogás /t mezcla, >65% de CH <sub>4</sub>
Via-Sana (Lérida-España)	Purín de cerdo (80%) Co-sustratos (20%): Residuos orgánicos de la zona como derivados de alcohol, derivados de aceites vegetales, lodos de depuradora de aguas industriales, derivados de frutas, cebolla y leche 2 digestores de 1270 m <sup>3</sup> 30,7 t mezcla/día; TRH de 15 días, 52-55°C 71,4 m <sup>3</sup> biogás /t mezcla
Cudwoth Pork (Canadá)	Purín Co-sustrato: patatas Reactor de 2000 m <sup>3</sup>
Granja Kotimaki (Halsua-Finlandia)	Purín de cerdo Co-sustrato: lodo seco, pieles de patatas y residuos biodegradables procedentes de la industria de la madera

### 2.4.3 Co-digestión de residuos ganaderos con residuos de naranja.

La utilización de residuos cítricos en la co-digestión anaerobia podría contribuir a solucionar el problema de gestión de estos residuos en las zonas de elevada producción (principalmente el Levante español). Sin embargo, la presencia de aceites esenciales en la corteza (mayoritariamente en el flavedo) dificulta el proceso por su efecto inhibitor. Estudios anteriores a escala de laboratorio (Lane, 1984) muestran que el efecto inhibitor depende de la concentración de aceites esenciales, ya que se reduce este efecto cuando la concentración en el digestor baja de 0,075 g/l.



La concentración de aceites esenciales puede reducirse aplicando pretratamientos al residuo de naranja. Lane estudió a escala de laboratorio su destilación y eliminación mecánica.

Existen datos sobre co-digestión anaerobia de estiércol de vacuno y restos del procesado de la naranja obtenidos en un estudio realizado a escala piloto en 1995 en India. En el que se estudiaba el efecto del pretratamiento con diferentes hongos sobre la producción de biogás. La experiencia se realizó en un reactor de mezcla completa de 1500 l, inicialmente cargado con estiércol de vacuno, siendo progresivamente reemplazado por residuos del procesado de naranja. Se trabajó en rango mesofílico (30°C) y con un TRH de 25 días. Los hongos empleados fueron: *Sporotrichum*, *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. Se observó que el pretratamiento realizado aumentó la biodegradabilidad de los compuestos poliméricos presentes y, de esta manera, el contenido en azúcares y proteínas. Una alimentación de residuos del procesado de naranja con un 8% (peso seco) de residuo pretratado, aumentó los niveles de producción de biogás, alcanzándose una producción de 500-600 m<sup>3</sup> biogás/t SV (equivalente a 450 - 540 m<sup>3</sup> biogás/t residuo de naranja). Como conclusiones podemos determinar:

- Apenas existen estudios sobre co-digestión anaerobia de residuos ganaderos y residuos de naranja. En algunos ensayos de laboratorio se utilizan los residuos ganaderos como inóculo durante la fase de arranque para la digestión de residuos de naranja en reactores de mezcla completa.
- El pretratamiento de residuos de naranja con diferentes hongos (*Sporotrichum*, *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium*) aumenta los niveles de producción de biogás (450-540 m<sup>3</sup>/t residuo de naranja).
- No se conocen casos de plantas industriales que empleen residuos de naranja como co-sustrato.



#### 2.4.4 Co-digestión de residuos ganaderos con residuos de remolacha.

Existen estudios a escala de laboratorio que muestran que la co-digestión de restos de remolacha (hojas y raíces) con purín de vacuno incrementa en 1,49 veces la producción de metano con respecto a la obtenida cuando sólo se trata purín. Los estudios se realizaron en rango termofílico (55°C), en digestores discontinuos y con un TRH de 20 días. Esta producción es máxima cuando se emplea un 40% de restos de remolacha (en concreto, las hojas). Sin embargo, un exceso de remolacha puede producir la inhibición del proceso de digestión anaerobia, sobre todo si se trata de raíces, pues presentan un contenido mayor en azúcares (en torno al 18% en base húmeda). Por otro lado, la adición de este tipo de materia orgánica al estiércol vacuno en los procesos de co-digestión aumenta el valor fertilizante de los efluentes.

Además, en Italia (en la región de Emilia Romagna) comenzó a operar en el verano de 2005 una planta de co-digestión de purín de vacuno y restos de cebollas, patatas, remolacha, maíz y forraje. En esta planta, el biogás obtenido se quema en motores de co-generación tras ser previamente depurado mediante un sistema de desulfuración biológico con adición de aire para reducir el contenido de sulfuro de hidrógeno. De la energía eléctrica generada, una parte se usa en la granja ganadera y en la propia planta y el resto se vende a la red eléctrica. Las características de la planta se muestran a continuación.



**Tabla 8: Datos técnicos de una planta industrial de co-digestión de purín de vacuno y remolacha.**

Planta de Biogás en Emilia Romagna (Italia)	
Gestor	Seguimiento realizado por CRPA (Centro Ricerche Produzioni Animali s.p.a.)
Co-sustratos	Purín de vacuno (62%, 1 <sup>er</sup> periodo; 40%, 2 <sup>o</sup> periodo) Residuo agroindustrial: Cebollas, Remolacha, Patatas, maíz. (38%, 1 <sup>er</sup> periodo; 60%, 2 <sup>o</sup> periodo)
Dimensiones del digestor	2 digestores de 1200 m <sup>3</sup> cada uno
Capacidad de tratamiento	18,5 t/día (1er periodo); 28,5 t/día (2 <sup>o</sup> periodo)
Temperatura de operación	38°C
Materia seca	ST (g/kg): Purín (89,2), Cebollas (101,6), Remolacha (150,4), Patatas (222,8), maíz (310,5)
Tiempo de residencia	Dato no especificado
Producción de biogás	75 m <sup>3</sup> /t mezcla residuos (1 <sup>er</sup> periodo) 100,7 m <sup>3</sup> /t mezcla residuos (2 <sup>o</sup> periodo)
Contenido en CH <sub>4</sub> del biogás	55% (1 <sup>er</sup> periodo) 53% (2 <sup>o</sup> periodo)

Como conclusión podemos determinar:

- Investigaciones a escala de laboratorio muestran que la co-digestión de estiércol de vacuno con restos de remolacha azucarera aumenta la producción de metano. Sin embargo, cuando se añaden restos de remolacha en exceso se producen fenómenos de inhibición (raíces > 15%; ramas, hojas y raíces > 30-40%).

- La planta de Emilia Romagna (Italia) emplea cebollas, remolacha, patatas y maíz como co-sustratos en la digestión anaerobia con purín de vacuno (relación purín/residuos de 0,7). Consta de 2 digestores de mezcla completa en serie y produce 100,7 m<sup>3</sup>/t mezcla residuos con un contenido en CH<sub>4</sub> del 55%, operando en rango mesofílico. No se dispone de datos sobre el tiempo de residencia hidráulico de la planta.



## 2.4.5 Co-digestión de residuos ganaderos y cultivos energéticos.

Los cultivos energéticos presentan propiedades que los hacen muy buenos sustratos en la obtención de biogás mediante digestión anaerobia, hasta el punto de que existen plantas industriales que realizan la digestión anaerobia solamente con estos cultivos. La cantidad de biogás generado de un sustrato en particular depende fuertemente de la composición del sustrato. Una composición típica de un cultivo energético es: 60-70% de carbohidratos, 10-12% de proteínas, 2-3% de grasas y 10-15% de agua. En la tabla 5 se recogen valores de producción de biogás de los diferentes constituyentes de los cultivos energéticos, según datos de TekniskaVerken, empresa constructora de una de las mayores plantas de tratamiento anaeróbico de cultivos energéticos (ubicada en Linköping, Suecia).

**Tabla 9: Biogás producido durante la completa degradación de 1 kg de sustrato (TekniskaVerken).**

Componente	Producción de biogás (m <sup>3</sup> N/t)	Contenido en CH <sub>4</sub> (%)
Grasas	1.390	69
Proteínas	650	78
Carbohidratos	850	50

Estimaciones realizadas sobre la capacidad de algunos cultivos para producir electricidad, muestran que 1 ha de maíz (alrededor de 50 t) puede producir entre 2-2,5 Kw eléctricos, 1 ha de pasto (alrededor de 25 t) entre 0,8 – 1,2 Kw eléctricos, mientras que 1 vaca (alrededor de 18,25 t/año) genera alrededor de 0,2 Kw eléctricos.

A partir de la información recogida sobre el proceso de co-digestión anaerobia de residuos ganaderos y cultivos energéticos se observa que existe gran experiencia en este campo, existiendo un gran número de plantas operando a escala industrial y ubicadas en su mayoría en Alemania, Holanda, Dinamarca, Austria, Suecia y Finlandia. En la tabla 6 se recogen datos técnicos de plantas que operan a escala industrial y utilizan como sustratos para la digestión anaerobia, residuos ganaderos y cultivos energéticos. En estas plantas el biogás se quema en motores de co-generación obteniendo electricidad y calor, mientras que la fracción líquida del digestato se emplea como fertilizante.



## CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE BIOGÁS GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS



Las plantas recogidas en la tabla operan en rango mesofílico, con reactores agitados y con tiempos hidráulicos de residencia que van desde los 22 a los 77 días. La proporción residuo ganadero/cultivo energético es variable, la producción de biogás y la concentración de metano en el biogás obtenido se mantiene en valores entre 50-75%. Se han alcanzado producciones de 200 m<sup>3</sup> de biogás/t mezcla alimentada operando con reactores en dos fases, en rango mesofílico el primero y termofílico el segundo, con TRH entre 15-20 días en cada uno de los reactores y empleando proporciones purín: cultivo energético de 1:7 (planta de Archea, Suedhorsten - Alemania).

**Tabla 10: Datos técnicos de plantas de biometanización que co-digieren residuos ganaderos y cultivos energéticos.**

	Jühnde Bio-Energy Village (Alemania)	Rohkraft (Baja Austria)	Archea (Alemania)	Leeuwarden (Holanda)	Järna (Suecia)	Jyväskylä (Finlandia)
Co-sustratos	Vacuno (51%) Silo hierba y maíz (42%) Maíz grano (7%)	Purín de cerdo (30%) con lixiviados de los silos cultivos C. energéticos y res. Vegetales (70%)	Purín cerdo (12,5%) Hierba fresca (12,5%) Silo (75%)	Vacuno, gallinaza C. energéticos (<20%) Hierba	Vacuno (40%) Paja (8%) Avena (52%)	Vacuno Residuo cosechero
Digestor	1º: 3.000 m <sup>3</sup> 2º: 5.000 m <sup>3</sup>	1º CSTR 2.000 m <sup>3</sup> 2º CSTR 1.850 m <sup>3</sup>	1º: 270 m <sup>3</sup> Higienización 2º: 340 m <sup>3</sup>	80 m <sup>3</sup>	R. Hidrol.: 53 m <sup>3</sup> R. Met.: 17,8 m <sup>3</sup>	150 m <sup>3</sup>
Capacidad de tratamiento	55-60 t/día	50 t/día	10 t/día	2,5 m <sup>3</sup> /día	404 kg/día	
Tª de operación	38°C	39°C	1º: 37-38°C Higienización 2º: 50-53°C	37-40°C	38°C	35-37°C
Materia seca	26%	33,7% (en SV)	12%			
Tiempo residencia	66 días	77 días	1º: 15-20 días 2º: 15-20 días	28 días	22 días	22 días
Producción biogás	7.200-8.400 m <sup>3</sup> /día (131-140 m <sup>3</sup> /t)	11.008 m <sup>3</sup> /día (220 m <sup>3</sup> /t)	> 2.000 m <sup>3</sup> /día (>200 m <sup>3</sup> /t)		0,17 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg SV	0,21 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg SV
Contenido en CH <sub>4</sub> del biogás	50%	Dato no disponible	52-56%	65-75%		55-58%
Contenido en SH <sub>2</sub>	100-200 ppm		< 100 ppm tras desulfurización con aire y madera			
Producción energética	Elect: 680 kW Calor: 700 kW	Elect: 8.030 MWh/año Calor: 8.223 MWh/año	Electricidad: 240 kW Calor: desconocido	30 kW	Calor	

Como conclusión podemos determinar:

- Existe un gran número de plantas industriales de co-digestión de residuos ganaderos y cultivos energéticos (principalmente maíz), ubicadas en su mayoría en Alemania, donde operan plantas de biogás que sólo utilizan cultivos energéticos como sustrato en la digestión anaerobia.
- Las plantas operan en rango mesofílico, con reactores agitados y con tiempos de residencia hidráulicos entre 20 y 30 días.



- La proporción residuo ganadero/cultivo energético es variable, así como la producción de biogás, aunque la concentración de metano en el biogás obtenido se mantiene en valores entre 50-55%.

- Se han alcanzado producciones de 200 m<sup>3</sup> de biogás/t mezcla alimentada operando con reactores en dos fases, en rango mesofílico el primero y termofílico el segundo, con TRH entre 15-20 días en cada uno de los reactores y empleando proporciones purín: cultivo energético de 1:7 (planta de Archea, en Suedhorsten - Alemania).

#### 2.4.6 Co-digestión de residuo ganadero y maíz.

Respecto al proceso de co-digestión de residuos ganaderos y maíz, existe también un número elevado de plantas que operan a escala industrial. En la tabla 23 se recogen datos técnicos de algunas plantas que Co-digieren residuos ganaderos y maíz. Las plantas operan en rango mesofílico, con reactores agitados y con tiempos hidráulicos de residencia entre 12 horas y 40 días.

La proporción residuo ganadero/cultivo energético es variable, así como la producción de biogás, aunque la concentración de metano en el biogás obtenido se mantiene en valores entre 51-55%.

Se han alcanzado producciones de hasta 222 m<sup>3</sup> de biogás/t mezcla alimentada (44% de residuo ganadero y 56% de silo de maíz) con un contenido en metano del 54% (Planta de Eissen, Holanda), aunque se desconocen datos sobre el tiempo de residencia y la temperatura de operación.

En todas estas plantas el biogás obtenido se quema en motores de cogeneración obteniendo electricidad y calor. La fracción líquida del digestato se emplea como fertilizante en la mayoría de las plantas.



**Tabla 11: Datos técnicos de plantas de biometanización que co-digieren residuos ganaderos y maíz.**

	Kaarssen (Alemania)	Beesten (Alemania)	Löningen (Alemania)	"Spargelhof Querdel" (Alemania)	Eissen (Holanda)
Constructor/Gestor	Bioconstruct GMBH	Lipp GmbH	Schmack Biogas AG	Bio Energy Biogas GMBH	PlanET Biogastechnik GmbH
Co-sustratos	Vacuno (77%) Silo de maíz (23%)	Ganaderos (50%): 75% cerdo y 25%vacuno Silo de maíz (50%)	Ganaderos (77%): cerdo+otros Silo de maíz (23%)	Purín de pavo (20-50%) Silo de maíz	Ganadero (44%: 50% cerdo y 50% vacuno) Silo de maíz (56%)
Digestor	1º: 2x5.500 m <sup>3</sup> 2º: 1x2.500 m <sup>3</sup> y 1x5.200 m <sup>3</sup>	Pre-reactor: 1.200 m <sup>3</sup> Reactor: 1.300 m <sup>3</sup>	2 horizontales EUCO® 400 m <sup>3</sup> 5 verticales COCCUS® 1.800 m <sup>3</sup>	Reactor horizontal de flujo pistón de 700 m <sup>3</sup>	3 reactores de 500 m <sup>3</sup>
Capacidad de tratamiento	450 m <sup>3</sup> /día	68 t/día	120 t/día	12-13 t/día	90 t/día
Tª de operación	40°C (mesofílico)	40°C (mesofílico)	38-42°C (mesofílico)	39°C (mesofílico)	Dato no disponible
Materia seca	9-10%	29% (final: 7-8%)	5-8%	A la salida: 8%	28%
Tiempo residencia	1º: 22 días 2º: 8 días	20-30 días	12 horas	30-40 días	Dato no disponible
Producción biogás	28.000 m <sup>3</sup> /día (62,2 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	1.680 m <sup>3</sup> /día (24,7 m <sup>3</sup> /t)	10.000 m <sup>3</sup> /día (83,3 m <sup>3</sup> /t)	Dato no disponible	~ 20.000 m <sup>3</sup> /día (222 m <sup>3</sup> /t)
Contenido en CH <sub>4</sub> del biogás	51-52%	52%	52-55%	52%	54%
Contenido en SH <sub>2</sub>	De 2.000 ppm a <150 ppm	< 200 pm (tras tratamiento con FeCl <sub>2</sub> )	< 200 ppm	200 ppm	
Producción energética	2.800 kW	440kW	800 kW	310 kW	1.250 kW

### 2.4.7 Co-digestión de residuos ganaderos y residuos animales.

Los subproductos animales y los residuos de matadero presentan propiedades que los hacen aptos para ser usados como co-sustratos en la co-digestión anaerobia con residuos ganaderos (alto contenido graso).

La Unión Europea exige la pasteurización o la esterilización de los residuos procedentes de matadero cuando estos vayan a ser utilizados en tierras agrícolas.

Según estudios realizados en ensayos en discontinuo por el SwedishInstitute of Agricultural and Environmental Engineering (JTI), la digestión de subproductos animales previamente pasteurizados aumenta el rendimiento en la producción de metano cuatro veces con respecto al empleo de materiales no pasteurizados. Ello se debe a que, tras el tratamiento térmico los lípidos quedan más accesibles para la digestión anaerobia (tabla 12).



Por otra parte, el potencial de producción de metano es mayor para los restos de matadero de ganado bovino que para los de cerdo, en concreto unas nueve veces mayor.

**Tabla 12: Producción de metano a partir de la digestión anaerobia de diferentes subproductos animales Fuente: SwedishInstitute of Agricultural and Environmental Engineering (JTI).**

Residuo	Producción de CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /t)
Subproductos animales pasteurizados	225
Subproductos animales no pasteurizados	56
Mezclas de residuos de matadero	160
Residuos domésticos	130
Purines*	13

\*Purines con contenido en SV del orden de 60-80 kg SV/t purin

Respecto a la existencia de plantas industriales que obtienen biogás a partir de la co-digestión anaerobia de residuos ganaderos y subproductos animales, Dinamarca aparece como el país que cuenta con un mayor número de plantas, con la particularidad de que en ellas se co-digieren residuos ganaderos y mezclas de residuos animales procedentes de mataderos y de la industria del procesado de pescado. Suecia, Alemania, Polonia y España cuentan también con plantas en operación en los que el proceso de co-digestión anaerobia se realiza con este tipo de residuos. En España existe una planta ubicada en Juneda (Lérida). En la siguiente tabla se recogen los datos técnicos de algunas de estas plantas.



**Tabla 13: Datos técnicos de plantas de biometanización que co-digieren residuos ganaderos y residuos animales. Fuente: PROBIOGÁS.**

	Hodsager (Dinamarca)	Vegger (Dinamarca)	Ribe (Dinamarca)	Lintrup (Dinamarca)
Constructor/Gestor	Hodsager Energiselskab A.m.b.a.		Construida por Krüger Ltd	LinkoGas A.m.b.a.,
Co-sustratos	Ganaderos (87,5%: 83% vacuno, 17% cerdo) Otros (12,5%): Residuos de matadero de cerdos, residuos grasos de las industrias de procesado de pescado, etc.	Ganaderos (71% vacuno) Residuo de mataderos de cerdos, arcillas usadas en el blanqueo del aceite, industria farmacéutica, industria alimentaria, lodos de depuradora, etc. (29%)	Ganaderos (84%: 75% vacuno, resto: cerdo, avícola, visón) Otros (16%): residuos de matadero, restos comida, procesado de pescado, medicamentos.	Ganadero (75%: 53% vacuno, 47% cerdo) Otros (25%): Residuos orgánicos de la industria de procesado de alimentos y de pescado, industria médica, residuos de matadero, etc.
Digestor	2 reactores verticales de 440 m <sup>3</sup>	4 reactores de 230 m <sup>3</sup> (CSTR)	3 reactores verticales agitados de 1.745 m <sup>3</sup>	3 digestores de 2.400 m <sup>3</sup> (CSTR)
Pretratamiento	No se realiza	Proceso a 55°C durante 3 h	MGRT 4 horas a 53°C	Pasteurización durante 10 horas a 53°C (Tª de la digestión)
Capacidad de tratamiento	48 t/día	59 t/día	400-450 t/día	547 t/día
Tª de operación	37°C	55°C	53°C	53°C Post-digestión a 42°C
Tiempo residencia	Dato no disponible	Dato no disponible	16-18 días	Dato no disponible
Producción biogás	1.918 m <sup>3</sup> /día (40 m <sup>3</sup> /t)	5.753 m <sup>3</sup> /día (97,5 m <sup>3</sup> /t)	13.150 m <sup>3</sup> /día (31 m <sup>3</sup> /t)	15.616 m <sup>3</sup> /día (28,5 m <sup>3</sup> /t)
Contenido en CH <sub>4</sub> del biogás	Dato no disponible	> 65%	Dato no disponible	> 65%
Producción energética	640 kW	2.830 kW	Dato no disponible	2.037 kW eléctricos 2.600 kW térmicos

Constructor/Gestor	Hodsager Energiselskab A.m.b.a.		Construida por Krüger Ltd	LinkoGas A.m.b.a.,
Co-sustratos	Ganaderos (87,5%: 83% vacuno, 17% cerdo) Otros (12,5%): Residuos de matadero de cerdos, residuos grasos de las industrias de procesado de pescado, etc.	Ganaderos (71% vacuno) Residuo de mataderos de cerdos, arcillas usadas en el blanqueo del aceite, industria farmacéutica, industria alimentaria, lodos de depuradora, etc. (29%)	Ganaderos (84%: 75% vacuno, resto: cerdo, avícola, visón) Otros (16%): residuos de matadero, restos comida, procesado de pescado, medicamentos.	Ganadero (75%: 53% vacuno, 47% cerdo) Otros (25%): Residuos orgánicos de la industria de procesado de alimentos y de pescado, industria médica, residuos de matadero, etc.
Digestor	2 reactores verticales de 440 m <sup>3</sup>	4 reactores de 230 m <sup>3</sup> (CSTR)	3 reactores verticales agitados de 1.745 m <sup>3</sup>	3 digestores de 2.400 m <sup>3</sup> (CSTR)
Pretratamiento	No se realiza	Proceso a 55°C durante 3 h	MGRT 4 horas a 53°C	Pasteurización durante 10 horas a 53°C (Tª de la digestión)
Capacidad de tratamiento	48 t/día	59 t/día	400-450 t/día	547 t/día
Tª de operación	37°C	55°C	53°C	53°C Post-digestión a 42°C
Tiempo residencia	Dato no disponible	Dato no disponible	16-18 días	Dato no disponible
Producción biogás	1.918 m <sup>3</sup> /día (40 m <sup>3</sup> /t)	5.753 m <sup>3</sup> /día (97,5 m <sup>3</sup> /t)	13.150 m <sup>3</sup> /día (31 m <sup>3</sup> /t)	15.616 m <sup>3</sup> /día (28,5 m <sup>3</sup> /t)
Contenido en CH <sub>4</sub> del biogás	Dato no disponible	> 65%	Dato no disponible	> 65%
Producción energética	640 kW	2.830 kW	Dato no disponible	2.037 kW eléctricos 2.600 kW térmicos



#### 2.4.8 Co-digestión con residuos ganaderos y residuos de matadero.

Son numerosas las investigaciones realizadas sobre digestión anaerobia de residuos animales generados en mataderos, aunque usados como único sustrato en el proceso. Sin embargo, no se encontraron experiencias a escala laboratorio o piloto de co-digestión de residuos ganaderos y residuos de matadero, si bien sí existen plantas que operan a escala industrial y que obtienen biogás a partir de la co-digestión de este tipo de mezclas.

Son numerosas las plantas que operan a escala industrial que obtienen biogás a partir de mezclas de residuos ganaderos y residuos de matadero. En la última tabla se recogen los datos técnicos de algunas de ellas. De la información recopilada de las mismas se puede concluir lo siguiente:

- En muchas de las plantas consultadas en las que se usan restos de matadero como co-sustrato en la digestión anaerobia de residuos ganaderos, no se dispone de mucha información sobre el tipo de reactor empleado o el tiempo de residencia hidráulico. De los datos disponibles, la mayoría de las plantas emplean reactores agitados verticales, con tiempos de residencia hidráulicos en torno a 20 días.

- En la mayoría de las plantas consultadas, además de purines y restos de matadero se introducen otros residuos, como restos de comida, residuos lácteos o arcillas empleadas en el blanqueo del aceite vegetal. La proporción es variable, aunque la proporción de purines suele ser mayor (en torno al 85% de la mezcla). La producción de biogás oscila entre 40 y 50 m<sup>3</sup>/t mezcla, con una concentración en CH<sub>4</sub> que en muchos casos supera el 65%.

- Como excepción, la planta Aby, en Linkoping (Suecia) emplea un 75% de restos de matadero, produciendo 98 m<sup>3</sup>/t mezcla, con un contenido en CH<sub>4</sub> del 68%, aunque con un TRH de 50 días, en rango mesofílico.



- Muchas de las plantas consultadas trabajan en rango termofílico. En este caso, la etapa de higienización se realiza durante la propia digestión, gracias a la temperatura de operación y al tiempo de permanencia del residuo en el reactor. Las plantas que trabajan en rango mesofílico realizan una higienización previa del residuo (1 hora a 70°C).

#### 2.4.9 Co-digestión con residuos ganaderos y residuos pesqueros.

Son numerosos los datos experimentales obtenidos en investigaciones realizadas a escala de laboratorio sobre el proceso de digestión anaerobia utilizando como sustrato residuos de la industria pesquera, ya sea como sustrato único o con otros sustratos como los residuos ganaderos. En las tablas 14 y 15 se recogen datos de producción de biogás a partir de diferentes residuos de la industria pesquera y con diferentes condiciones de operación.

Cuando se utilizan residuos de la industria pesquera como co-sustratos en procesos de digestión anaerobia pueden producirse efectos de inhibición de la actividad metanogénica específica (SMA) debido a la presencia de altas concentraciones de sal. En este sentido en el tratamiento de agua residual procedente del procesado de la almeja en reactores UASB y a 32°C se observó inhibición de la SMA a concentraciones mayores de 13,35 g Na<sup>+</sup>/l (Boardman et al., 1995). Vidal et al. (1997) observaron que en el tratamiento de agua residual de la industria del procesado de comida precocinada de pescado en un filtro anaerobio a 37°C y utilizando como inóculo sedimentos marinos, la inhibición se observó con 30 g NaCl/l. Por su parte, Gebauer (2004) observó que en la digestión de lodo salino de piscifactorías en reactores discontinuos y a 35°C, la inhibición de la SMA se produjo a una concentración de 26 g NaCl/l.



**Tabla 14: Producción de biogás a partir de diferentes residuos pesqueros usados como sustrato único.**

Alimentación	Composición alimentación	Operación	Producción gas	% CH <sub>4</sub>	Referencia
Residuos de cangrejo		HSBF (operación en percolación e inundado) 35 °C	250-290 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t SV <sup>(1)</sup>	> 70	O'Keefe et al. (1996)
Residuos sólidos de piscifactorías		UASB 24-25°C HRT: 22-38 d VCO: 0,23-0,75 g SV/L/d	400-600 m <sup>3</sup> biogás/t SV <sup>(2)</sup>	80	Lanan y Franci (1998)
Lodo de piscifactorías salino	ST: 4,1-5,1% (sin diluir) Na: 5,3 g/L S%: 17,5 VFA: 0,6 g/L	CSTR semicontinuo Lodo diluido 1:1 HRT: 30 d 35 °C	220 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t SV <sup>(3)</sup>	57,6	Gebauer (2004)
Aceite y residuos pesqueros	SV: 8-44%		360-750 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t SV (43-389 m <sup>3</sup> biogás/ton) <sup>(4)</sup>		Folkecenter (2006)
Agua de industria de productos del mar (30 g NaCl)		AF VCO: 5,7-7,1 g/L/d 37°C	170 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t DQO <sup>(1)</sup>		Vidal et al. (1997)
Agua de cocción de cangrejo azul			6,6-10,0 m <sup>3</sup> biogás/ m <sup>3</sup> alimentación <sup>(1)</sup> (68% CH <sub>4</sub> )		Rodenhizer and Boardman (1999)
Efluente residual de procesado atún		Lecho fijo ascendente 30°C	180 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t SV <sup>(1)</sup>		Achour et al. (2000)
Agua sintética (conservera sardinas y atún)		30°C	230 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t SV <sup>(1)</sup>		Palenzuela-Roñon et al. (2002)

(1) Ensayos en continuo a escala laboratorio; (2) Ensayos en continuo a escala piloto; (3) Ensayos en semicontinuo a escala laboratorio; (4) Ensayos en continuo a escala industrial.





**Tabla 15: Producción de biogás a partir de diferentes residuos pesqueros en procesos de co-digestión con otros sustratos.**

Alimentación	Composición alimentación	Operación	Producción gas	% CH <sub>4</sub>	Referencia
Pulpa sisal y residuos de pescado		Ensayos en batch 27°C HRT: 24 d	440-620 m <sup>3</sup> biogás/t SV <sup>(1)</sup>	58-65	Mhandete et al. (1999)
20% residuos de pescado (cabezas, colas y vísceras de trucha), 70% purín de vacuno	93 g SV/L	Ensayos en batch 35°C 79,2 g SV/L	Residuos de pescado: 380 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t SV <sup>(1)</sup> Purín vacuno: 300 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t SV <sup>(1)</sup>		Callaghan et al. (1999)
97% estiércol cerdo, 2% residuo de aceite de pescado, 1% bentonita-bound oil		30°C HRT: 15 d	184 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t SV <sup>(2)</sup>	65	Francese et al. (2000)
Residuos matadero, industriales, restaurantes y estiércol de cerdo	9,7-10,3% ST C/N: 8-11	CSTR 35°C OLR: 2,6-3,1 g/L/d HRT: 28-36 d	800-1000 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t SV <sup>(2)</sup>	68,2-70,5	Murto et al. (2003)
20% residuos repostería, 80% estiércol de vaca	25% ST (res. orgánicos) 5,9-8% ST (estiércol)	CSTR 35/55°C OLR: 2,3-2,5 g/L/d HRT: 15/20 d	190-290 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t SV <sup>(2)</sup>		Paavola et al. (2006)

<sup>(1)</sup> Ensayos en discontinuo a escala de laboratorio; <sup>(2)</sup> Ensayos en continuo a escala laboratorio.

En la tabla 15 se recogen datos técnicos de plantas ubicadas en Dinamarca que operan a escala industrial y en las que se co-digieren residuos ganaderos y residuos procedentes de la industria del pescado. En todas, además de purines y residuos pesqueros, se co-digieren otros residuos, como residuos lácteos, farmacéuticos y, en muchas de las plantas consultadas, residuos de matadero.



De las plantas consultadas, la mayoría opera en rango termofílico (53-55°C), aprovechando esta temperatura de operación y el tiempo de residencia para la eliminación de patógenos. Las plantas que operan en rango mesofílico realizan una etapa previa de higienización (1 hora a 70°C).

No se dispone de información sobre el tipo de reactor utilizado en todas las plantas consultadas, pero las que facilitan este dato usan reactores verticales agitados o CSTR, y una de ellas (planta de Thorsø en Dinamarca) utiliza un CSTR seguido de un PFR.

La proporción purín: co-sustrato es variable, empleando en todas las plantas consultadas mayor proporción de purín en la mezcla alimentada (70 al 90%). La producción de biogás es también bastante variable (entre 27 y 97 m<sup>3</sup>/t mezcla alimentada) con un contenido en CH<sub>4</sub> superior al 65% (dato no facilitado por todas las plantas consultadas).

Como conclusión podemos determinar:

- Las plantas que usan como co-sustrato residuos de la industria pesquera se ubican en Dinamarca. En todas, además del purín y los residuos pesqueros, se co-digieren otros residuos, como residuos lácteos, farmacéuticos y, en muchas de las plantas, residuos de matadero.

- De las plantas consultadas, la mayoría opera en rango termofílico (53- 55°C), aprovechando esta temperatura de operación y el tiempo de residencia para la eliminación de patógenos. Las plantas que operan en rango mesofílico realizan una etapa previa de higienización (1 hora a 70°C).

- No se dispone de información sobre el tipo de reactor utilizado en todas las plantas consultadas, pero las que facilitan este dato usan reactores verticales agitados o CSTR, y una de ellas (planta de Thorsø en Dinamarca) utiliza un CSTR seguido de un PFR.

- La proporción purín: co-sustrato es variable, empleando mayor proporción de purín en la mezcla alimentada (70 al 90%). La producción de biogás es también bastante variable (entre 27 y 97 Nm<sup>3</sup>/t mezcla alimentada) con un contenido en CH<sub>4</sub> superior al 65%.



#### 2.4.10 Co-digestión de residuos ganaderos y residuos de la industria láctea.

No se ha encontrado mucha información sobre la utilización de este tipo de co-sustrato. En la planta de Vila-Sana (España) se añade leche como co-sustrato, junto con otros residuos orgánicos, como restos de fruta. En las plantas danesas de Fangel, Ørre, Blåbjerg y Hasjøj se añaden residuos lácteos junto con residuos de matadero y de la industria pesquera, pero se desconoce la proporción en la que se añaden estos residuos.

Sería necesario una investigación en profundidad sobre el proceso de co-digestión, para determinar la proporción óptima residuo ganadero: residuo lácteo, así como las condiciones óptimas de operación y las producciones alcanzables de biogás y metano.

#### 2.4.11 Co-digestión de residuos ganaderos y residuos de la fabricación de biodiesel.

La glicerina es un subproducto de la fabricación del biodiesel. El mercado de la glicerina es limitado, por lo que, cuando la capacidad de producción de biodiesel aumente, la glicerina terminará siendo un subproducto de relativamente bajo valor, aumentando el coste de la producción de biodiesel. La utilización de la glicerina como materia prima en otras industrias puede ayudar a que la producción de biodiesel sea más factible económicamente.

Una de las posibles aplicaciones para este residuo es la co-digestión anaeróbica con otros residuos orgánicos, con el objetivo de aumentar el potencial de biogás. La glicerina presenta un pH adecuado para la digestión anaerobia y además es muy biodegradable.

Se han encontrado datos de plantas que operan a escala industrial en las que la glicerina se añade como tercer co-sustrato al proceso de digestión anaerobia para compensar el efecto inhibitorio que causa el nitrógeno amoniacal producido como consecuencia de un elevado contenido de nitrógeno en los residuos tratados. El elevado contenido en carbono de la glicerina permite aumentar la relación C/N en la mezcla, evitando fenómenos de inhibición debidos al nitrógeno.



Estudios experimentales realizados muestran que la adición de glicerina en procesos de co-digestión anaerobia aumenta la producción de biogás. Esta es una de las principales conclusiones obtenidas por Amon et al. (2006), que optimizaron la digestión anaerobia de purín de cerdo con silo de maíz, utilizando un suplemento de glicerina. Los ensayos fueron realizados en discontinuo a temperatura de 38-40°C y en ellos observa que la producción de biogás es especialmente alta con adiciones de glicerina de 3-6%, mientras que a concentraciones de glicerina de 8% y 15% se observa una inhibición debida a la presencia de grandes cantidades de ácidos propiónico y butírico. Sin embargo, a escala industrial, se tiene constancia de que en la planta de biogás de Hashoej en Dinamarca, alimentan el reactor con un 9% de glicerina produciendo altos caudales de biogás.

En la tabla 16 se recogen datos técnicos de dos plantas en las que se trabajó con residuos de glicerina en el proceso de co-digestión con residuos ganaderos y otros residuos orgánicos. La planta Skovbaekgaard, en Dinamarca, es la única que, hasta el momento, obtiene biogás a partir de la co-digestión de residuos ganaderos (de vacuno, en concreto) y glicerina procedente de la fabricación de biodiesel. No se conocen datos sobre la proporción en la que se añaden los co-sustratos, pero se comprueba cómo la adición de glicerina al proceso produjo un aumento considerable de la producción de biogás (del 186%). La glicerina se calienta previamente a 70°C, para hacer más sencillo su manejo y dosificación (ésta se realiza cada 20 minutos).



**Tabla 16: Datos técnicos de plantas industriales de biometanización que co-digieren residuos ganaderos y residuos de glicerina.**

	<b>Bioenergie Ahden GmbH &amp; Co. KG Biogas Plant, Büren-Ahden (Alemania)</b>	<b>Skovbaekgaard Biogas Plant, Holsted (Dinamarca)</b>
Gestor	Construcción: Biogas Nord Seguimiento: University Southern of Denmark	La propia granja productora del purín
Co-sustratos	Ganaderos (28,5%, cerdo) Otros (71,5%): residuos de comida (Se ha añadido glicerina y mezclas glicerina/agua)	Ganaderos (vacuno: 450 animales) Glicerina (biodiesel) 1000 m <sup>3</sup> /año Ocasionalmente, grasas vegetales (avena): 100 t/año máximo
Dimensiones del digestor	Digestores primarios: 2 verticales de 1,527 m <sup>3</sup> cada uno Digestores secundarios: 2 verticales de 2.661 m <sup>3</sup> cada uno	Digestor primario de 1.200 m <sup>3</sup>
Capacidad de tratamiento	38 m <sup>3</sup> /día (20 dosis)	Dato no disponible
Temperatura de operación	38-40°C (mesofílico)	Digestor primario: 51°C Digestor secundario: 33°C
Materia seca	15%	Dato no disponible
Tiempo de residencia	Digestor primario: < 48 días Digestor secundario: < 46 días	Digestor primario: 18 días Digestor secundario: 3 meses
Producción de biogás	Dato no disponible	3.000-3.500 m <sup>3</sup> /día sin adición de glicerina 10.000 m <sup>3</sup> /día con glicerina
Contenido en CH <sub>4</sub> del biogás	65-70%	52-55%
Contenido en SH <sub>2</sub>	300 ppm	Dato no disponible
Producción energética	750 kW	5.000-8.000 kWh/día

Como conclusión podemos determinar:

- De las investigaciones realizadas a escala de laboratorio en rango mesofílico se ha encontrado que a concentraciones de glicerina más altas del 6% se produce una sobrecarga orgánica en el reactor y una baja producción de biogás. Sin embargo, a escala industrial, se tiene constancia de que en la planta de biogás de Hashoej en Dinamarca, alimentan el reactor con un 9% de glicerina, produciendo altos caudales de biogás.

· En la planta “Skoubaekgaard Biogas Plant” la adición de glicerina ha conducido a un aumento en la producción de biogás desde 3.000-3.500 m<sup>3</sup>/día a 10.000 m<sup>3</sup>/día. En esta planta se co-digiere purín añadiendo 1.000 m<sup>3</sup> de glicerina al año y, ocasionalmente, restos de avena y grasas vegetales. Se desconoce la proporción que de glicerina en la mezcla alimentada al reactor. Esta planta consta de dos reactores: el primario trabaja en rango termofílico con un TRH de 18 días y el secundario en rango mesofílico, con un TRH de 3 meses. El contenido en CH<sub>4</sub> del biogás es del 52-55%

· En otras plantas el aporte de glicerina se realiza en pequeñas cantidades, para aumentar la relación C/N de los residuos co-digeridos (residuos ganaderos, residuos agroalimentarios), evitando que el alto contenido en N de algunos residuos, produzca inhibición por presencia de nitrógeno amoniacal.

## 2.5 Diseño de las plantas de digestión anaeróbica.

### 2.5.1 Diagrama de flujos de una instalación de digestión.

Aunque en las instalaciones de biogás el elemento fundamental lo constituye el digester en sus diferentes variantes, también existe la posibilidad de aplicar múltiples sistemas tanto en el pretratamiento de los sustratos como en el postratamiento del digestato. Así mismo, pueden aplicarse distintas alternativas para el aprovechamiento energético del biogás y todo ello se recoge en el diagrama de flujo de la figura 11.

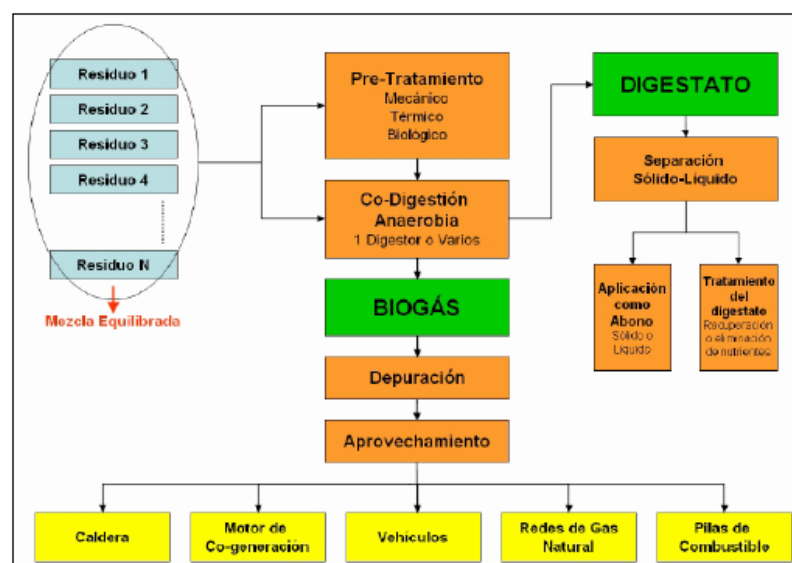


Ilustración 11: Diagrama de flujo de una planta de biogás agroindustrial.



## 2.5.2 Diseño de una planta de biogás.

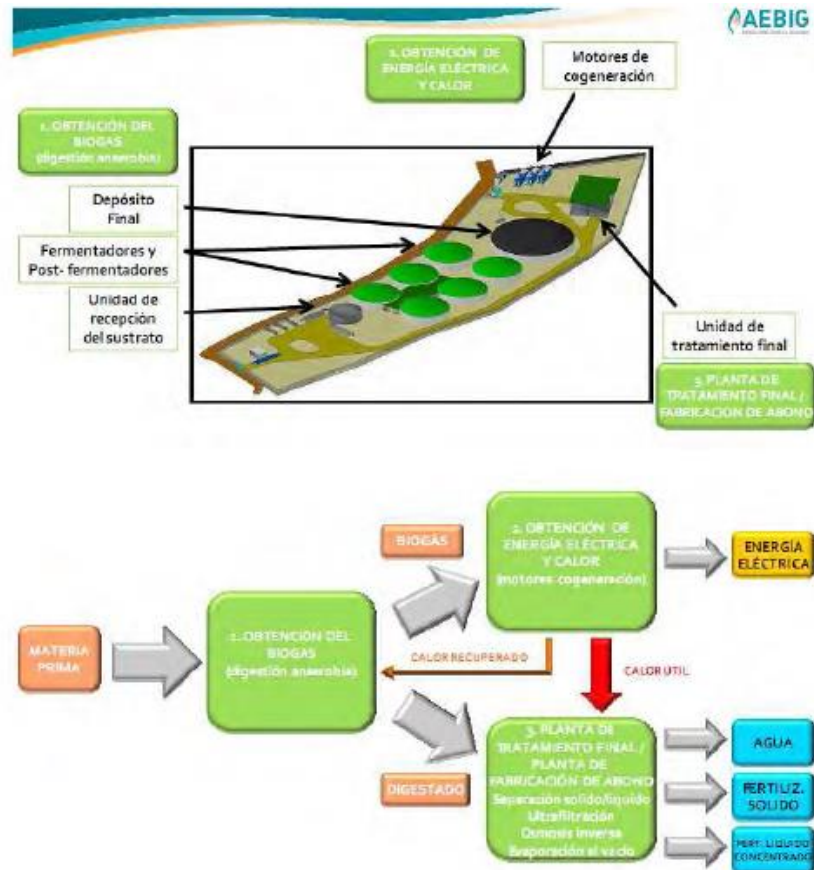


Ilustración 12: Diseño de una planta de biogás.

## 2.5.3 Fases del proceso de digestión.

Para el caso del biogás agroindustrial las alternativas que se presentan en cada una de las fases de este diagrama, se resumen a continuación:

**a) Pretratamiento:** en general, con los pretratamientos se pretende acelerar el proceso de hidrólisis de las materias orgánicas para incrementar la producción, la calidad del biogás, y se reduce el tiempo de residencia en el digestor, debido a un aumento de la biodegradabilidad, favoreciendo unas condiciones óptimas para el desarrollo microbiano.



**b) Co-digestión anaerobia:** es la fermentación anaerobia de dos o más sustratos que se complementan químicamente, aumentando la estabilidad, la producción de biogás y el equilibrio del proceso.

**c) Depuración y aprovechamiento:** dependiendo del uso del biogás, la depuración deberá ser más o menos estricta. El biogás se almacena en gasómetros y puede valorizarse en calderas, motores de co-generación (sistema más generalizado), vehículos, su introducción en la red de transporte de gas natural o en pilas de combustible.

**d) Digestatos y su aprovechamiento:** el digestato es un material de composición homogénea, en el que los malos olores se han reducido prácticamente en su totalidad y que contiene todos los nutrientes que contenía la materia orgánica inicial. Puede utilizarse como fertilizante orgánico-mineral de los cultivos, ya sea directamente o tras ser sometido a un proceso de separación sólido-líquido y posteriormente la fracción sólida puede comportarse, bien sola o mezclada con otros sustratos.

## 2.6 Caracterización de los sustratos agroindustriales.

### 2.6.1 Tipos de subproductos agroindustriales.

Los subproductos y residuos que forman el grupo de las materias primas agroindustriales son los que provienen de la agricultura, pesca y ganadería, de la industria alimentaria y de otras industrias similares, tales como: industrias de biodiesel, bioetanol, biorrefinerías. Entre estos tipos de materias primas agroindustriales merece mencionar por su potencial en la producción de biogás las siguientes:

- De origen animal: estiércoles, purines, gallinaza...

- De origen vegetal: hierba, hoja de remolacha, paja, trigo, cultivos energéticos (con una elevada producción de biogás) ...

- De la Industria Alimentaria de origen vegetal: bagazo de la industria cervecera o deshechos hortícolas...

- Otros residuos de la Cadena alimentaria: residuos y aceites de gastronomía...





- De la Industria Alimentaria de origen animal: subproductos de origen animal no destinados al consumo humano (SANDACH). En función del riesgo que implican para la salud pública, animal y del medio ambiente, y el riesgo que implican para la protección de la cadena alimentaria humana y animal, los **subproductos SANDACH se clasifican en las siguientes categorías**:

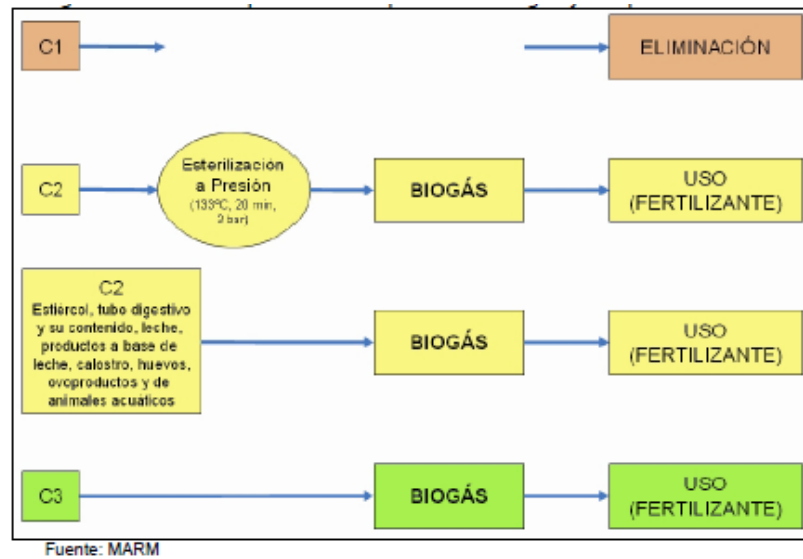
- Categoría 1: aquellos materiales que presentan un mayor riesgo. Por ello el único destino posible de estos materiales es la eliminación. Algunos ejemplos son: materiales específicos de riesgo (MER), productos derivados de animales a los que se hayan administrado sustancias prohibidas, residuos del catering internacional, etc.

- Categoría 2: materiales que presentan un riesgo intermedio y los usos de dichos materiales son distintos de la alimentación animal. Ejemplos: estiércol y contenido del tubo digestivo o animales que mueran sin ser sacrificados para el consumo, incluida la erradicación de enfermedades, entre otros.

- Categoría 3: son los que tienen un menor riesgo; por ello, los usos son más amplios que en las otras dos categorías anteriores, incluyendo la alimentación animal en algunos casos. Son las partes de animales que se consideran aptos para el consumo humano de conformidad con la normativa comunitaria, pero que no son destinados a este fin.

A partir del 4 de marzo de 2011 entra en vigor el nuevo Reglamento (CE) nº 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, que establece una serie de pequeñas diferencias respecto al anterior Reglamento 1774/2002, que se refieren a la utilización de las diferentes categorías de SANDACH y los tratamientos que deben recibir para su uso en plantas de biogás.

Como resumen de los nuevos requisitos, señalar que ciertos materiales de categoría 2 (estiércol, tubo digestivo y su contenido, etc.) pueden ser utilizados directamente para su uso en plantas de biogás. El resto de materiales de categoría 2, deberán ser sometidos a una esterilización a presión. Por su parte, los materiales de categoría 3 pueden ser utilizados en plantas de biogás sin ningún tratamiento previo. Además, los digestatos obtenidos a partir de material de categoría 1 deberán ser eliminados, mientras que los digestatos obtenidos a partir de categoría 2 y 3, pueden ser utilizados como enmienda orgánica, según la normativa correspondiente. Dichos requisitos se resumen en la figura 13.



**Ilustración 13: SANDACH permitidos en plantas de biogás y sus pretratamientos.**

### 2.6.2 Características de los subproductos agroindustriales.

Los principales parámetros que deberán evaluarse para la caracterización de las materias primas agroindustriales utilizables en las plantas de biogás son los siguientes:

**-Sólidos totales (ST):** porcentaje de sólidos que forman la materia fresca.

**-Sólidos Volátiles (SV):** porcentaje de sólidos totales (ST) que se volatilizan mediante calcinación a 550°C. Representa la medida de la materia orgánica que se transforma en biogás mediante la digestión anaerobia mesófila o termófila de los compuestos orgánicos. La producción de biogás de un 20 sustrato suele referirse a los sólidos volátiles, y una manera de expresar la biodegradabilidad es como porcentaje de sólidos volátiles eliminados.

**- Nutrientes:** una adecuada proporción de nutrientes en las materias primas tiene un efecto fundamental sobre la producción de biogás, la formación de la biomasa microbiana, la concentración de enzimas y coenzimas necesarias en el proceso y la creación de las denominadas sustancias buffer. Las sustancias buffer son aquellas que favorecen las condiciones del proceso, aportando capacidad tampón o reguladora a la mezcla, estabilizando el pH.



Se puede resumir que, de todos estos parámetros, el carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimentación de las bacterias formadoras de metano; siendo el carbono la fuente de energía de los microorganismos, mientras que el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células. En el punto 2.4.1 de este documento se recogen las condiciones óptimas en las que se desarrollan los diferentes microorganismos que intervienen en el proceso de digestión. Si no existe suficiente cantidad de nitrógeno en el medio para permitir que las bacterias se multipliquen, la velocidad de producción de gas se verá limitada; si por el contrario hay exceso de nitrógeno en el medio, se produce amoníaco, el cual, en grandes cantidades, es tóxico e inhibe el proceso, elevando los valores de pH.

En el caso del carbono, si éste se encuentra en exceso, el proceso se hace más lento y tiende a acidificar el medio, produciendo ácidos grasos volátiles (AGV), los cuales como ya se dijo anteriormente, en exceso inhiben la fermentación anaerobia.

En general, los desechos animales presentan una relación C/N por debajo del óptimo de mecanización, debido a sus elevadas concentraciones de nitrógeno y por ello, el rendimiento en producción de biogás se mejora significativamente cuando se codigiere con residuos agrícolas u otros sustratos orgánicos con elevada relación C/N.

**Tabla 17: Relaciones C / N de algunos sustratos**

SUSTRATO	RELACIÓN C:N
Purín de cerdo	18-20
Purín de vacuno	15-24
Gallinaza	15
Residuos de matadero	2-8
Residuos de cocina	25
Residuos de frutas	35
Fangos de depuración	16
Pieles de patata	25
Cebada, arroz, trigo	60-90

Fuente: Flotats, X.



Aunque en los subproductos agroindustriales pueden existir sustancias inhibidoras como pesticidas, herbicidas, aceites esenciales, polifenoles, etc. en los residuos vegetales o desinfectantes y antibióticos en los estiércoles ganaderos, la realidad es que no existen referencias claras de instalaciones de biodigestión en las que la concentración de dichos inhibidores haya producido un efecto negativo sobre el proceso. Así mismo, también puede haber casos en los que las sustancias inhibidoras se forman durante la digestión anaerobia, como la aparición de concentraciones altas de ácidos grasos de cadena larga, amoníaco e hidrógeno y ácido sulfhídrico. En la tabla siguiente se muestran valores orientativos de las concentraciones inhibidoras más habituales.

**Tabla 18: Valores de las concentraciones de los inhibidores más comunes**

INHIBIDORES	CONCENTRACION INHIBIDORA (mg/ml)
Sulfuro (como azufre)	200
Cu	10-250
Cr	200-2000
Zn	350-1000
Ni	100-1000
CN	2
Na	8000
Ca	8000
Mg	3000

Fuente: GTZ GmbH, 1999

En la tabla 19 se recoge un resumen de las características más significativas de los sustratos agroindustriales más representativos, aunque conviene destacar que únicamente deben utilizarse como referencia general pues la variabilidad de los mismos es muy acusada. Por tanto, a la hora de efectuar un estudio real para la construcción de una planta de biogás, es imprescindible hacer previamente una valoración precisa de los subproductos que se van utilizar en el proceso de biodigestión.



**Tabla 19: Resumen de las características más significativas de los sustratos agroindustriales más habituales.**

Residuo	ST (%)	SV (% ST)	C:N	Producción de biogás (m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> de SV)	Tiempo de Retención (días)	CH <sub>4</sub> (%)	Sustancias NO deseables	Sustancias Inhibidoras	Problemas Frecuentes
Purín de cerdo	3-8	70-80	3-10	0,25-0,50	20-40	70-80	Virutas de madera, arena, cerdas, cuerdas	Antibióticos, desinfectantes	Espumas, sedimentos
Estiércol	5-12	75-85	6-20	0,20-0,30	20-30	55-75	Cerdas, tierra, paja, madera	Antibióticos, desinfectantes	Espumas
Gallinaza	10-30	70-80	3-10	0,35-0,60	> 30	60-80	Piedras, arena, plumas	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Antibióticos, desinfectantes	Inhibición por NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> y espumas
Residuos de frutas	15-20	75	35	0,25-0,50	8-20	ND	Partes poco biodegradables	AGV, Pesticidas	Acidificación
Restos de alimentos	10	80	8-12	0,50-0,60	10-20	70-80	Huesos, metales, plásticos	AGV, desinfectantes	Acidificación, sedimentos mecánicos
Vinazas	1-5	80-95	4-10	0,35-0,55	3-10	55-75	Partes poco biodegradables	AGV	Acidificación
Paja	70	90	90	0,35-0,45	10-50	ND	arena	---	Espumas, biodegradabilidad

Fuente: Adaptación de Steffen, R., Szolar, O., Braun, R. (1998). Feedstocks for Anaerobic Digestion.

### 3 LEGISLACIÓN APLICABLE AL BIOGÁS DE DIGESTIÓN DE MATERIAS PRIMAS AGROINDUSTRIALES.

#### 3.1 Marco legislativo.

La presente relación de normas referentes a la obtención y comercialización del biogás en relación con el sector agrícola no pretende ser exhaustiva, sino dar una visión clara del marco legislativo en España.



### 3.1.1 Legislación de la UE.

- Directiva 2009/73/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de julio de 2009, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural y por la que se deroga la Directiva 2003/55/CE.
- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.
- Reglamento (CE) Nº 1774 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de octubre de 2002, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano.
- Reglamento (CE) 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 21 de octubre de 2009, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento(CE) nº 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales)
- Reglamento (CE) Nº 185/2007 de la Comisión, de 20 de febrero de 2007, por el que se modifican los Reglamentos (CE) nº 809/2003 y /CE) nº 810/2003 en lo relativo a la validez de las medidas transitorias para las plantas de compostaje y biogás contempladas en el Reglamento (CE) nº 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Reglamento (CE) Nº 92/2005 de la Comisión, de 19 de enero de 2005, por el que se aplica el Reglamento 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que se refiere a los métodos de eliminación o a la utilización de los subproductos animales y se modifica su anexo VI en lo concerniente a la transformación en biogás y la transformación de las grasas extraídas.
- Reglamento (CE) Nº 208/2006 de la Comisión, de 7 de febrero de 2006, por el que se modifican los anexos VI y VIII del Reglamento 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, en lo que se refiere a las normas de transformación para las plantas de biogás y compostaje y las condiciones aplicables al estiércol.



### 3.1.2 Legislación nacional.

● Resolución del MITYC de 7 de abril de 2010, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se publican los valores del coste de la materia prima y del coste base de la materia prima del gas natural para el primer trimestre de 2010, a los efectos del cálculo de complemento de eficiencia y los valores retributivos de las instalaciones de cogeneración y otras en el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

● Real Decreto-Ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social.

● Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

● Real Decreto 616/2007, de 11 de mayo, sobre fomento de la cogeneración.

● Plan de Energías renovables 2005-2010 (aprobado en Consejo de Ministros 26 de agosto de 2005).

● Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas.

● Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.

### 3.1.3 Legislación autonómica.

● Comunidad Autónoma de Andalucía, Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética en Andalucía.

● Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha, Ley 1/2007, de 15 de febrero, de fomento de las energías renovables e incentivación del ahorro y la eficiencia energética en Castilla La Mancha.

● Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Ley 10/2006, de 21 de diciembre, de energías renovables y ahorro y eficiencia energética de la Región de Murcia.



## 3.2 Análisis del marco legislativo.

A la hora de analizar el actual marco legislativo, es importante tener en cuenta los requisitos que van a afectar a las materias primas, a las instalaciones y sus actividades y a los productos que se obtienen tras la digestión anaeróbica, es decir, tanto el biogás como el digestato.

### 3.2.1 Materias primas.

En lo referente a las materias primas, la normativa que se debe aplicar va a depender de su origen. El artículo 1 de la Directiva 2008/98/CE define su objeto y ámbito de aplicación como “medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos de la generación y gestión de los residuos, la reducción de los impactos globales del uso de los recursos y la mejora de la eficacia de dicho uso.”

Dicha Directiva señala en su artículo 2.1 “Queda excluido del ámbito de aplicación de la presente Directiva:”:

f) materias fecales, si no están contempladas en el apartado 2.b), paja y otro material natura, agrícola o silvícola, no peligroso, utilizado en la agricultura, en la silvicultura o en la producción de energía a base de la biomasa, mediante procedimientos o métodos que no dañen el medio ambiente o pongan en peligro la salud humana.

Así mismo, dicha Directiva en su artículo 2.2 excluye “en la medida en que ya está cubierto por otra normativa comunitaria:

*b) Subproductos animales, incluidos los productos transformados cubiertos por el Reglamento (CE) nº 1774/2002, excepto los destinados a la incineración, los vertederos o utilizados en una planta de gas o compostaje;”.*

Por tanto, la nueva Directiva de Residuos únicamente es de aplicación a los subproductos de origen animal cuando van a ser procesados en una planta de biogás y también es de aplicación al digestato resultante del proceso de metanización.





En consecuencia, de este artículo se desprende que, a un subproducto de origen animal, como el estiércol, no le es de aplicación la Directiva de residuos cuando es valorizado directamente en la agricultura, pero sí le es de aplicación dicha Directiva al digestato procedente de la metanización del estiércol.

Teniendo en cuenta que la biodigestión anaeróbica es un proceso que estabiliza los materiales digeridos y por tanto mejora la calidad agronómica, en este caso del estiércol, parece lógico pensar que estos digestatos quedaran regulados como subproductos y biorresiduos de acuerdo con el artículo 5 y el artículo 3.4 de la nueva Directiva de residuos.

La Directiva 2008/98/CE incorpora la definición de biorresiduos (artículo 3.4) como: residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de consumo al por menor, y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos. El artículo 22 explica las medidas que se deben adoptar en el ámbito de los EEMM para su recogida, compostaje, digestión y tratamiento de forma que sean seguros para el medio ambiente. La Directiva, también incorpora, por primera vez, la definición de subproducto “Una sustancia u objeto, resultante de un proceso de producción, cuya finalidad primaria no sea la producción de esa sustancia u objeto, puede ser considerada como subproducto y no como residuo con arreglo al artículo 3, punto 1, únicamente si se cumplen las siguientes condiciones:

- a) es seguro que la sustancia u objeto va a ser utilizado ulteriormente;
- b) la sustancia u objeto puede utilizarse directamente sin tener que someterse a una transformación ulterior distinta de la práctica industrial normal;
- c) la sustancia u objeto se produce como parte integrante de un proceso de producción; y
- d) El uso ulterior es legal, es decir la sustancia u objeto cumple todos los requisitos pertinentes para la aplicación específica relativos a los productos y a la protección del medio ambiente y de la salud, y no producirá impactos generales adversos para el medio ambiente o la salud humana.”



Por otra parte, en la actualidad, los subproductos de origen animal deben cumplir las condiciones que se especifican en el Reglamento (CE) nº1774/2002, que será sustituido por el Reglamento 1069/2009 a partir del 4 de marzo de 2011.

Ambos Reglamentos dividen los subproductos de origen animal en tres categorías distintas, atendiendo a su nivel de riesgo para la salud pública y la salud animal. La categoría de un producto determinará las condiciones para su eliminación y uso, así como para su transporte y manejo en general. Ambos Reglamentos contemplan la posibilidad de utilizar los subproductos de las categorías 1,2 y 3 como posibles materias primas para la obtención de biogás, sujetos a cumplir determinadas medias de aplicación relacionadas con los pretratamientos necesarios antes de su utilización como materia prima para la producción de biogás, los parámetros de transformación, y las condiciones y destinos posibles del digestato obtenido, en función de la categoría de las materias primas utilizadas.

El Reglamento 1774/2002, en su artículo 15 y en el Anexo VI establece las que las plantas de biogás que utilicen subproductos animales requieren ser autorizadas de acuerdo con el reglamento, lo que supone el cumplimiento de una serie de requisitos:

● Las plantas de biogás deberán estar equipadas con:

a) una unidad de pasteurización/higienización de paso obligatorio con:

i) instalaciones para comprobar la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo,

ii) dispositivos que registren los resultados de esas mediciones de forma continua, y

iii) un sistema de seguridad adecuado para evitar un calentamiento insuficiente; e

b) instalaciones adecuadas para la limpieza y desinfección de los vehículos y contenedores a la salida de la planta de biogás.



Sin embargo, no es obligatoria una unidad de pasteurización/higienización para las plantas de biogás que transformen sólo subproductos animales que hayan sido sometidos al proceso de transformación 1 (que supone un tratamiento de al menos 20 minutos a 133 °C a una presión absoluta de al menos 3 bares producida por vapor saturado), para los subproductos de categoría 3 que hayan sido pasteurizados/higienizados en otro lugar o para aquellos subproductos que pueden utilizarse como materia prima sin transformar (estiércol, contenido del tubo digestivo separado del tubo digestivo, leche y calostro).

Cada planta de biogás deberá disponer de su propio laboratorio o recurrir a un laboratorio externo. El laboratorio deberá estar equipado para efectuar los análisis necesarios y aprobado por las autoridades competentes.

Respecto a las condiciones de higiene, sólo los subproductos animales siguientes podrán ser objeto de transformación en una planta de biogás:

- a) Material de la categoría 2 mediante la aplicación del método de transformación 1 en una planta de transformación de la categoría 2;*
- b) estiércol y contenido del tubo digestivo, leche y calostro y*
- c) material de la categoría 3.*

*Los materiales de categoría 1 pueden ser transformados en una planta de biogás mediante el método de producción de biogás por hidrólisis a alta presión, autorizado de acuerdo con el Reglamento (CE) 92/2005. Este método implica el pretratamiento del material de categoría 1 mediante el método 1 y la destrucción del digestato resultante mediante incineración, coincineración o depósito en vertedero.*



*El material de la categoría 3 utilizado como materia prima en una planta de biogás equipada con una unidad de pasteurización/higienización deberá cumplir las siguientes condiciones mínimas:*

- a) dimensión granulométrica máxima antes de entrar en la unidad: 12 mm;*
- b) temperatura mínima de todo el material en la unidad: 70 °C, y*
- c) permanencia mínima en la unidad sin interrupción: 60 min.*

*El reglamento contempla la posibilidad de que la autoridad competente (a nivel de cada estado miembro) autorice el uso de otros parámetros normalizados para los procesos siempre y cuando el solicitante demuestre que dichos parámetros reducen al mínimo los riesgos biológicos. Esta demostración requiere una validación del proceso propuesto de acuerdo con el contenido del punto C.13.bis del capítulo II del anexo VI del Reglamento 1774/2002.*

*Además, de manera transitoria hasta que se adopten normas de acuerdo con la letra g) del apartado 2 del artículo 6, la autoridad competente puede, cuando el único subproducto animal utilizado como materia prima en una planta de biogás o compostaje sean residuos de cocina, autorizar la utilización de normas de transformación distintas de las establecidas en los puntos 12 y 13 siempre que garanticen un efecto equivalente de reducción de patógenos.*

El Reglamento 1774/2002 también obliga a que:

- Los subproductos sean transformados lo antes posible después de su llegada y tienen que ser almacenados correctamente hasta su transformación.*
- Los contenedores, recipientes y vehículos utilizados para el transporte de material no tratado deberán limpiarse en una zona designada a tal efecto.*

*Esa zona estará situada o diseñada para prevenir el riesgo de contaminación de los productos transformados.*

- Se tomarán sistemáticamente medidas preventivas contra pájaros, roedores, insectos y otros parásitos. Para ello, se aplicará un programa de control de plagas documentado.*
- Deberán fijarse y documentarse los procedimientos de limpieza para todas las zonas de las instalaciones. Deberán proveerse equipos de limpieza y agentes limpiadores adecuados.*



- El control de la higiene deberá incluir inspecciones periódicas del entorno y el equipo. Deberán documentarse los programas de inspección y sus resultados.

- Las instalaciones y el equipo deberán mantenerse en buen estado de conservación; el equipo de medición deberá calibrarse periódicamente.

Las muestras de los residuos de fermentación y de compost tomadas durante el almacenamiento o en el momento de la salida del almacén en la planta de biogás deberán cumplir las normas siguientes:

*Salmonella*: ausencia en 25 g:  $n = 5, c = 0, m = 0, M = 0$

Entero bacteria ceae:  $n = 5, c = 2, m = 10, M = 300$  en 1 g donde:

$n$ = número de muestras que deben analizarse,  $m$ = valor umbral del número de bacterias, el resultado se considera satisfactorio si el número de bacterias en todas las muestras no es superior a  $m$ .

$M$ = valor máximo del número de bacterias, el resultado se considera insatisfactorio si el número de bacterias en una o más muestras es igual o superior a  $M$ ,  $yc$ = número de muestras cuyo contenido bacteriano puede estar entre  $m$  y  $M$ ; la muestra se seguirá considerando aceptable si el contenido bacteriano de otras muestras es igual o inferior a  $m$ .

Estos valores se muestran de forma esquemática en la siguiente tabla:

**Tabla 20: Valores máximos de microorganismos admisibles.**

Análisis del Digestato	Durante o inmediatamente después del tratamiento				Durante el almacenamiento o a la salida del almacén			
	n	c	m	M	n	c	m	M
Parámetros								
<i>Escherichia coli</i>	5	1	1000	5000	--	--	--	--
Enterococcaceae	5	1	1000	5000	--	--	--	--
<i>Salmonella</i>	--	--	--	--	5	0	0	0



Además, el Reglamento establece que:

- Las inspecciones y controles oficiales deben realizarse en intervalos regulares. Su frecuencia dependerá del tamaño de la planta, del tipo de subproductos que se transformen, de la evaluación del riesgo y de las garantías ofrecidas con arreglo a los principios del sistema de análisis de riesgo y puntos críticos de control (HACCP).

- Si las inspecciones realizadas por la autoridad competente revelan alguna irregularidad, dicha autoridad deberá adoptar las medidas pertinentes.

- Todos los EEMM elaborarán una lista de las plantas de biogás autorizadas dentro de su territorio. Cada una recibirá un número oficial que le servirá para identificar a las plantas en relación con la naturaleza de sus actividades. Los EEMM enviarán copias de sus listas a los demás EEMM y a la Comisión.

El Reglamento 1069/2009, que derogará a partir del 4 de marzo de 2011 al Reglamento 1774/2002, mantiene dentro de su ámbito de aplicación la producción de biogás a partir de subproductos animales, así como la exigencia de autorización previa a las plantas que realicen esta operación. Las condiciones técnicas específicas se recogerán en un Reglamento de la Comisión, cuya publicación está prevista a finales de 2010. Este reglamento flexibilizará previsiblemente los requisitos vigentes actualmente; entre otras medidas que podrían adoptarse, figuran:

- la ampliación de la lista de casos en los que no es necesaria una unidad de pasteurización/higienización en la planta de biogás

- la posibilidad de aplicar los pretratamientos o la propia pasteurización/higienización después de la transformación en biogás.



### 3.2.2 Las instalaciones.

Al analizar los requisitos exigidos por el Reglamento 1774/2002 en función del tipo de materias primas que emplean estas plantas de biogás ya se han recogido las exigencias que, de acuerdo con este Reglamento, deben cumplir las instalaciones. Pero, además deben cumplir otros en función de su actividad industrial y energética.

En cuanto a las instalaciones, se pueden clasificar según su actividad de gestión de residuos y subproductos, según su actividad industrial y según su actividad de producción de energía.

#### 3.2.2.1 Requisitos legales y autorizaciones necesarias para las instalaciones según su actividad de gestión de residuos y subproductos.

La normativa aplicable a las plantas de biogás según su actividad de gestión de residuos y subproductos, viene dictada por las tres normativas mencionadas en el apartado anterior: Ley 10/1998 de residuos, nueva Directiva Marco de Residuos o Directiva 2008/98/CE y el Reglamento (CE) 1774/2002 o Reglamento SANDACH.

#### 3.2.2.2 Requisitos legales y autorizaciones necesarias para las instalaciones según su actividad industrial.

Las tramitaciones ambientales que pueden afectar a una planta de biogás, las cuales se estudian en mayor profundidad en las líneas siguientes, son: autorización ambiental integrada o licencia ambiental, estudio de impacto ambiental, autorización de gestor de residuos no peligrosos, autorización de vertido a cauce o al colector municipal y otro tipo de tramitaciones posibles como autorización de uso en suelo rústico, autorización de captación de aguas...

Por otra parte, la normativa básica a consultar, es la que a continuación se detalla:

- **Ley 16/2002**, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación para la que se debe presentar la autorización ambiental correspondiente, correctamente cumplimentada.



- **Ley de Prevención Ambiental**, de la comunidad autónoma que corresponda. Se deberá adjuntar: autorización ambiental, licencia ambiental y estudio de impacto ambiental de la explotación.

- **Real Decreto Legislativo 1/2008**, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental. Se presentará debidamente cumplimentado el estudio de impacto ambiental.

- **Ley 10/1998**, de 21 de abril, de residuos, para lo que se requiere la autorización de gestor de residuos no peligrosos.

- **Reglamento de Dominio Público Hidráulico (DPH)**, para el que serán necesarias las autorizaciones de vertido, de captación y las Ordenanzas Municipales correspondientes, para las que se requerirán las autorizaciones de vertido pertinentes.

- **Orden MAM/1873/2004**, de 2 de junio, por la que se aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos regulados en el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, de reforma del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. Será necesaria la autorización de vertido al Dominio Público Hidráulico (DPH) correspondiente.

Las tramitaciones administrativas necesarias para las instalaciones de biogás, son:

a) Autorización Ambiental: el objetivo de las autorizaciones ambientales es el establecimiento de un sistema de prevención que integre en una autorización única las autorizaciones existentes en materia de vertido de aguas residuales, producción y gestión de residuos y emisiones a la atmósfera. Por ello las autorizaciones ambientales integran las autorizaciones de vertido, autorizaciones de gestor de residuos, autorizaciones de productor de residuos, declaración de impacto ambiental y la autorización de actividad potencialmente contaminadora de la atmósfera.





Los documentos necesarios que deberán adjuntarse a la autorización ambiental son: o Proyecto Básico: el proyecto básico deberá contener la descripción de las actividades, instalaciones, procesos y tipo de producto; documentación para la obtención de licencia municipal de actividades; informe de estado ambiental de lugar e impactos previstos; materias primas, sustancias y energía generados y empleados en la instalación; fuentes generadoras de emisiones: tipo y cantidades; medidas de prevención y gestión de residuos; y sistemas de emisiones y vertidos.

- Estudio de Impacto Ambiental.
- Documentación necesaria para la Autorización de Gestor y Productor de residuos.
- Datos atmosféricos de la zona en cuestión.
- Documentación administrativa y otro tipo de documentación, como: solicitud firmada por el representante legal de la empresa; CIF de la empresa; escrituras de constitución de la empresa; informe de compatibilidad urbanística del ayuntamiento; resumen no técnico; cualquier otra documentación que puedan solicitar: modelización de residuos, de los niveles de emisión atmosférica, estudio de situación del suelo...

b) Licencia Ambiental: la documentación necesaria para la correcta cumplimentación de licencia ambiental, que deberá ser presentada, es:

- Proyecto Básico: con la documentación señalada en el punto anterior.
- Autorización de vertido.
- Estudio de impacto ambiental, si fuese necesario.
- Documentación administrativa y otro tipo de documentación, como: solicitud firmada por el representante legal de la empresa; escrituras de constitución de la empresa; CIF de la empresa; autorización de suelo rústico, en el caso que proceda; y resumen no técnico.



c) Estudio de Impacto Ambiental: la normativa de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, es el Real Decreto Legislativo 1/2008. Por otra parte, el estudio de impacto ambiental se presentará en el caso de las autorizaciones ambientales, junto al resto de documentación necesaria en la consejería de Medio Ambiente. Mientras que en el caso de las licencias ambientales, se presentará en el órgano sustantivo pertinente (existen opiniones dispares entre los ayuntamientos o las consejerías de Medio Ambiente correspondientes).

d) Autorización para la valorización o eliminación de residuos: la normativa de referencia es la Ley 10/1998 de residuos. La autorización de gestor de residuos es necesaria cuando se utilice un residuo para su valorización. Hoy en día, sí que es necesaria para las instalaciones de biogás y de compostaje, según la consejería de Medio Ambiente correspondiente, aunque en un futuro su regulación se basara en la nueva Directiva Marco de Residuos.

e) Autorización de Vertido: la autorización de vertido puede ser de dos tipos:

“autorización de vertido a colector” o “autorización de vertido a dominio público hidráulico”. En el caso de las primeras, se presenta en el ayuntamiento pertinente y puede además ser necesaria una memoria, en función de la ordenanza de vertidos. Para las segundas, se presentarán en la Confederación Hidrográfica correspondiente; puede ser necesaria la realización de un proyecto de depuración y/o estudio hidrogeológico.

### 3.2.2.3 Requisitos legales y autorizaciones necesarias para las instalaciones según su actividad de producción energética.

Existen 4 normativas aplicables a las plantas de biogás según su actividad de producción energética: Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial; Real Decreto-ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social; Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica; y Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009 , relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. El Real Decreto-ley 6/2009, establece el registro de preasignación de retribución para las nuevas instalaciones.



La documentación necesaria exigida es:

- Concesión de punto de acceso y conexión firme.
- Autorización administrativa, la cual no será necesaria en el caso de las instalaciones cuya potencia no sea superior a 100 kW.
- Licencia de obras.
- Aval necesario para solicitar el acceso a la red de transporte y distribución.
- Recursos económicos propios o financiación suficiente para acometer el 50% de la inversión de la instalación.
- Acuerdo de compra por un importe equivalente del 50% del valor de los equipos.
- Punto de suministro de gas natural, en el caso de que dicho combustible se utilice como combustible principal.
- Informe favorable de aprovechamiento de aguas cuando sea necesario.
- Aval suplementario, depositado en la Caja General de Depósitos.

Por su parte, el Real Decreto 1955/2000 sobre la conexión y acceso a la red de distribución, establece que la construcción de las instalaciones eléctricas requiere las siguientes resoluciones administrativas:

- *Autorización Administrativa*: se refiere al anteproyecto de la instalación y se tramitará, en su caso, conjuntamente con el estudio de impacto ambiental.
- *Aprobación del proyecto de ejecución*: se refiere al proyecto concreto de la instalación y permite a su titular la construcción o establecimiento de la misma.
- *Autorización de explotación*: permite una vez ejecutado el proyecto, poner en tensión las instalaciones y proceder a su explotación comercial.



Y por último la Directiva 2009/28, de fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, en la que en el artículo 13 se expone: “Los Estados miembros velarán por que las normas nacionales relativas a los procedimientos de autorización, certificación y concesión de licencias que se aplican a las instalaciones e infraestructuras conexas de transporte y distribución para la producción de electricidad, calor o frío a partir de fuentes de energía renovables, y al proceso de transformación de la biomasa en biocarburante u otros productos energéticos, sean proporcionadas y necesarias”.

De este modo, quedan definidas de la forma más clara y sencilla posible todos los requisitos legales y autorizaciones necesarios para la puesta en marcha y para el transcurso de una planta de biogás agroindustrial.

Cabe decir, en algunos casos, que la normativa anteriormente citada, depende particularmente de cada comunidad autónoma o municipio correspondiente.

Asimismo, para futuras consultas de esta guía, la redacción de la legislación anteriormente citada, se ha realizado en el mes de diciembre del año 2009, momento en el cual todos los requisitos legales necesarios estaban vigentes.

Por otro lado, el Real Decreto 324/2000, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas, establece distancias mínimas entre las explotaciones que pueden dificultar la instalación de plantas de biogás, sobre todo cuando las explotaciones ganaderas son de pequeño tamaño y se concentran en determinados territorios, ya que el coste del transporte podría convertirse en un impedimento adicional.

### 3.2.3 Digestato.

La Directiva 2008/98/CE establece en el artículo 6 las condiciones en las que los residuos dejarán de tener dicha condición, entre ellas, cuando hayan sido sometidos a una operación, incluido el reciclado, de valorización y cumplan los criterios específicos que se elaboren, con arreglo a las condiciones siguientes:

- a) la sustancia u objeto se usa normalmente para finalidades específicas.
- b) existe un mercado o una demanda para dicha sustancia u objeto.
- c) la sustancia u objeto satisface los requisitos técnicos para las finalidades específicas, y cumple la legislación existente y las normas aplicables a los productos.



d) el uso de la sustancia u objeto no generará impactos adversos globales para el medio ambiente o la salud.

*Los criterios incluirán valores límite para las sustancias contaminantes cuando sea necesario y deberán tener en cuenta todo posible efecto medioambiental nocivo de la sustancia u objeto.*

Por otro lado, la Directiva obliga a los EEMM a que los residuos se sometan a operaciones de valorización lo hagan conforme a lo establecido en los artículos 4 y 13. A su vez, en su Anexo II, considera como valorización el “tratamiento de los suelos que produzca un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos”.

Por lo tanto, la utilización del digestato resultante de digestión anaerobio agroindustrial está respaldada por la propia Directiva Marco de Residuos, aunque para ello, debe cumplir los requisitos que se exigen a los fertilizantes, de entre los que destacan:

- *Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario y que establece los límites de los metales pesados que pueden contener en función del pH de los suelos.*

- *Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, por el que se establecen las medidas necesarias sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias y que limita a 170 kg de N por ha y año que puede aplicarse en las zonas vulnerables.*

- *Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes, modificado por Orden APA/836/2008, de 25 de marzo, por la que se modifican los anexos I, II, III y VI del Real Decreto 824/2005. Se establecen las características que deben cumplir los abonos nitrogenados y, por tanto, el digestato. En el Anexo IV aparece el digestato dentro de la lista de los residuos orgánicos biodegradables”, siempre que cumplan lo exigido en el Anexo VI del Reglamento 1774/2002.*



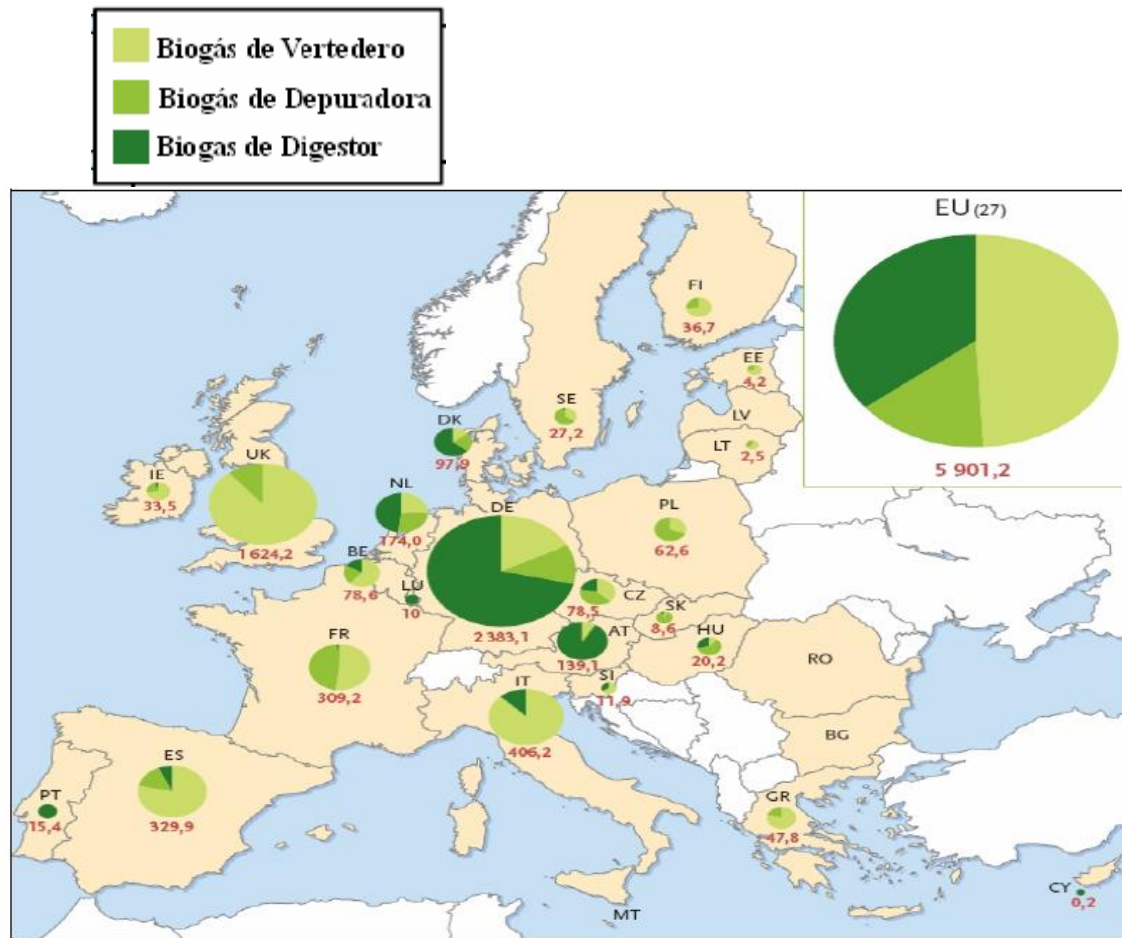
## 4 EL BIOGÁS EN EUROPA.

Según la Directiva 2009/28/CE, el uso de materiales agrícolas, como estiércol, purines y otros residuos animales y orgánicos, para la producción de biogás, tiene un gran potencial desde el punto de vista de evitar emisiones de gases de efecto invernadero, así como grandes ventajas ambientales.

Además, las instalaciones de biogás pueden contribuir al desarrollo de las zonas rurales, ofreciendo a los agricultores nuevas posibilidades de ingresos.

En el informe elaborado por L'Observatoire des Energies Renouvelables (EurObserv'ER, 2008) se estimaba que en el año 2007 se produjeron en Europa 5,9 millones de tep procedentes de biogás. Estudios posteriores de EurObserv'ER (2009), muestran para este año un valor superior, de 7,5 millones de tep.

Como se observa en la figura 14, la producción total de biogás en Europa, es de 5.901,2 ktep, de los cuales aproximadamente el 49% procede de vertederos, el 36% de biogás de digestores y el 15% restante de depuradoras, lo que se corresponde con 2.905, 2.108 y 887 ktep respectivamente.



Fuente: EurObserv'ER

**Ilustración 14: Producción de la energía primaria en la UE en el año 2007, en ktep.**

En España la producción total de biogás de 329,9 ktep, de los cuales el 79% procede de biogás de vertedero, 15% de depuradoras y el 6% de digestores. Estos datos demuestran que hasta el momento, en España no se ha producido un crecimiento de biogás de digestión equivalente al de los principales países miembros.

A pesar de lo dicho anteriormente, España ocupa el cuarto puesto en cuanto a la producción de biogás se refiere dentro de la Unión Europea, gracias a su elevada producción de biogás obtenido a partir de vertedero.



La producción estimada de biogás en la UE, durante el año 2006, asciende a 5.346,7 ktep (Tabla 14), lo que supondría un crecimiento del 13,6% con respecto al año 2005. Tal y como puede verse en la Tabla 21, Alemania y Gran Bretaña son con diferencia los países líderes en la producción de biogás, contribuyendo conjuntamente al 67,7% de la producción en el 2006.

**Tabla 21: Producción bruta de biogás en Europa (ktep) (EurObserv'ER, 2007).**

País	2005	2006*
Alemania	1.594,4	1.923,2
Gran Bretaña	1.600,0	1.696,0
Italia	343,5	353,8
España	316,9	334,3
Francia	220,0	227,0
Países Bajos	119,0	119,0
Austria	30,8	118,1
Dinamarca	91,5	94,2
Polonia	50,7	93,8
Bélgica	84,0	83,3
Grecia	36,0	69,4
Finlandia	63,5	63,5
República Checa	55,8	59,9
Irlanda	34,3	34,7
Suecia	29,8	33,3
Hungría	7,1	10,5
Portugal	10,1	9,2
Luxemburgo	7,4	8,9
Eslovenia	6,8	8,4
Eslovaquia	4,8	4,8
Estonia	1,3	1,3
Total	4.707,6	5.346,7

\* Estimación

## 5 SITUACIÓN DEL BIOGÁS EN ESPAÑA.

En el Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010 se considera la producción de biogás como una energía renovable que además representa una solución medioambiental y de tratamiento de residuos. Así mismo, en los países de nuestro entorno, también se considera el biogás en general y el del sector agroindustrial en particular como una energía renovable, que además tiene una componente medioambiental de reducción de emisiones evitadas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el sector eléctrico.



CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE BIOGÁS GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS  
AGROINDUSTRIALES EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS



Por tanto, el aprovechamiento energético del biogás debe considerarse como una importante fuente de energía renovable, que fundamentalmente se obtiene a partir de cuatro tipos de subproductos orgánicos: los residuos sólidos urbanos (RSU), los lodos de las plantas de depuración de aguas residuales urbanas, los efluentes de las industrias agroalimentarias y los diferentes tipos de estiércoles ganaderos.

Además del potencial energético del biogás, se debe tener en cuenta también la importancia medioambiental y económica de esta fuente de energía renovable, tanto en la reducción de emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> de la producción eléctrica como en la reducción de los costes de la compra de derechos de emisión para el cumplimiento de los compromisos de España en relación con el Protocolo de Kyoto, así como la inherente eliminación de emisiones de metano, óxido nitroso y emisiones radiactivas de alta actividad.

En este sentido según los datos del último Inventario Español de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de 2008, en la Tabla 23 se pueden observar las emisiones totales y en la Figura 16 su evolución porcentual en el periodo 1990- 2008 tomando como base 100 el Año Base del Protocolo de Kyoto. De ello se desprende que en el año 2008 las emisiones totales de GEI alcanzaron en España el 405,1 Mt de CO<sub>2</sub>-equivalente, lo que supone un 39,8% de aumento respecto a las emisiones del año base de 1990, o lo que es lo mismo, 24,8 puntos porcentuales de exceso sobre el compromiso adquirido en el Protocolo de Kyoto (15%).

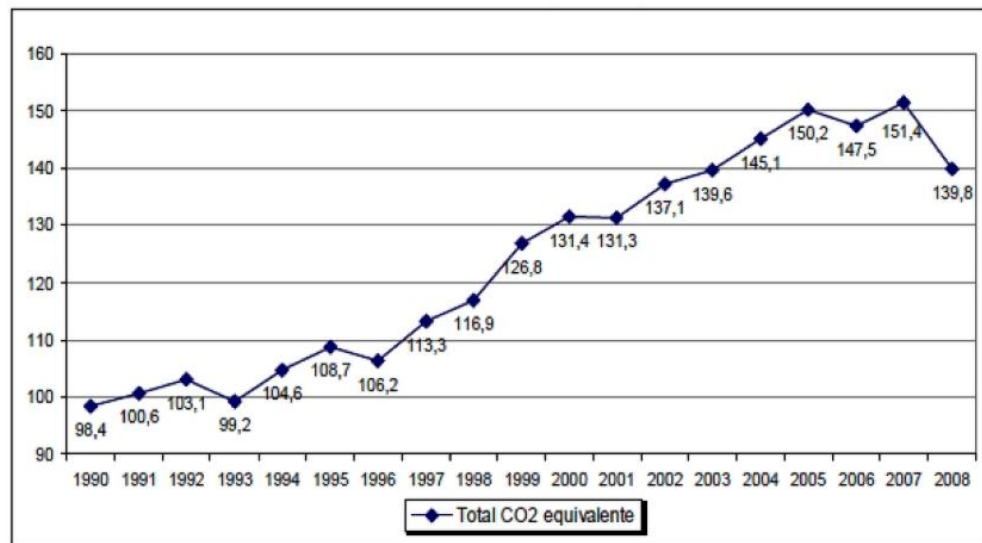
**Tabla 22: Inventario de Gases de Efecto Invernadero España. 1990-2008.**

(Cifras en kilotoneladas de CO<sub>2</sub>-eq)

Año Base PK	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997		
289.773	285.123	291.552	298.780	287.339	303.125	314.967	307.752	328.280		
1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
338.741	367.322	380.797	380.500	397.390	404.601	420.447	435.112	427.281	438.677	405.048

Fuente: MARM

Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq

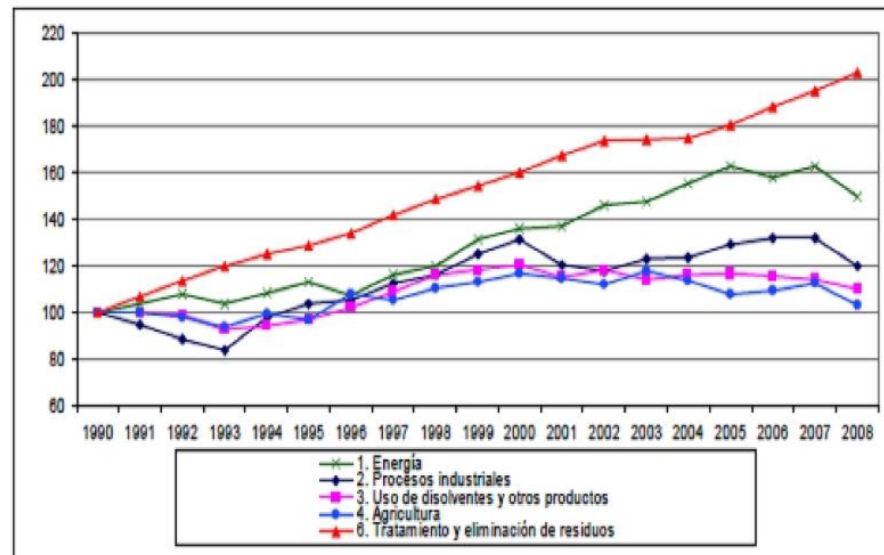


Fuente: MARM

**Ilustración 15 : Inventario de Gases de Efecto Invernadero España. 1990-2008.**

En esta última gráfica observamos las emisiones de CO2 por actividad.

Evolución de las emisiones por grupo de actividad



Fuente: MARM

**Ilustración 16 : Inventario de Gases de Efecto Invernadero España. 1990-2008.**



En consecuencia, actuaciones que potencien la producción de energías renovables como el biogás, permitirán reducir las emisiones del capítulo de generación energética del Inventario Nacional de GEI, que representan unas emisiones para el Mix energético español del entorno de 400 gramos de CO<sub>2</sub> equivalente por kilovatio hora generado. Ello ayudará a cumplir con el Plan Nacional de Asignación (PNA) de derechos de emisión de GEI 2008-2012, aprobado por Real Decreto 1370/2006, en donde se ha marcado como objetivo que las emisiones globales de GEI en España no superen en más de un 37% las del año base en promedio anual en el período 2008-2012 (actualmente son del 39,8%). Se prevé alcanzar esta cifra a través de la suma del objetivo Kyoto (15%), la cantidad absorbida por los sumideros (2%) y el equivalente adquirido en créditos de carbono procedentes de los mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kyoto (20%).

Otro factor que tiene una importancia capital a la hora de marcar las prioridades de inversión en el sector energético PER 2011-2020, será el cálculo del sobreprecio de la tarifa eléctrica de la producción energética del biogás respecto al precio de la tarifa eléctrica del pool español y que permita rentabilizar las instalaciones de producción. Este sobrecoste deberá ser justificado en cualquier caso con los costes de la compra de derechos de emisión que España deberá asumir para cumplir con los compromisos del Protocolo de Kyoto, teniendo en cuenta que actualmente la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente se sitúa en el entorno de los 20 euros.

## **5.1 PER 2011-2020.**

### **5.1.1 Introducción.**

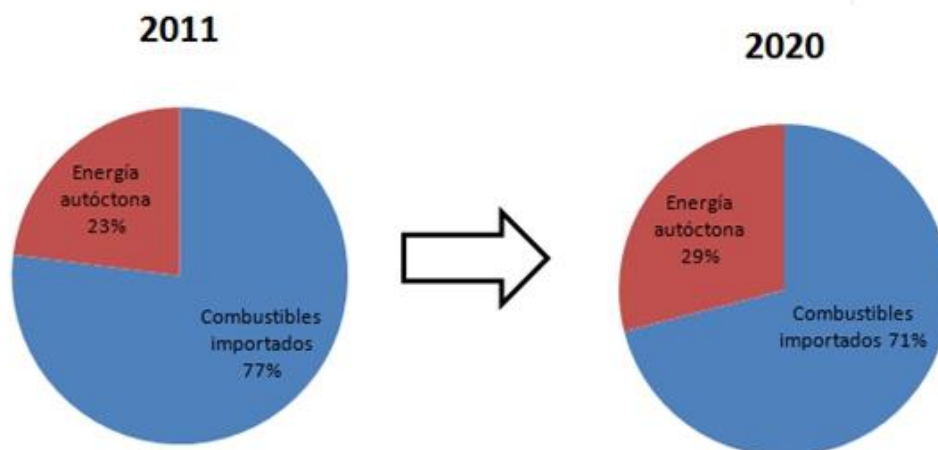
Agotado el período de vigencia del PER 2005-2010 y atendiendo al mandato establecido en la legislación vigente<sup>1</sup>, el Gobierno de España ha elaborado un nuevo Plan para el periodo 2011-2020. Este Plan incluye el diseño de nuevos escenarios energéticos y la incorporación de objetivos acordes con la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, la cual establece objetivos mínimos vinculantes para el conjunto de la Unión Europea y para cada uno de los Estados miembros. Concretamente, la Directiva establece como objetivo conseguir una cuota mínima del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía de la Unión Europea, el mismo objetivo establecido para España, y una cuota mínima del 10% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía en el sector del transporte en cada Estado miembro para el año 2020.



Además, la Directiva requiere que cada Estado miembro elabore y notifique a la Comisión Europea (CE), a más tardar el 30 de junio de 2010, un Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) para el periodo 2011-2020, con vistas al cumplimiento de los objetivos vinculantes que fija la Directiva. Dicho PANER, tal y como prevé la Directiva, debía ajustarse al modelo de planes de acción nacionales adoptado por la Comisión Europea a través de la Decisión de la Comisión, de 30 de junio de 2009. El Estado Español, a través de la Secretaría de Estado de la Energía, presentó dicho Plan dentro de los plazos establecidos por la Directiva.

La Secretaría de Estado de Energía del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE, ha elaborado el PER 2011-2020, que incluye los elementos esenciales del PANER, así como análisis adicionales no contemplados en el mismo y un detallado análisis sectorial que contiene, entre otros aspectos, las perspectivas de evolución tecnológica y la evolución esperada de costes. IDAE se constituye como Oficina del Plan responsable de su seguimiento.

Tras la elaboración del PANER, y en el marco de una evolución muy negativa de la economía mundial y española, tuvieron lugar los trabajos de la Subcomisión de análisis de la estrategia energética española para los próximos 25 años, constituida en el seno de la Comisión de Industria, Turismo y Comercio del Congreso de la Diputados, que el 21 de diciembre de 2010 aprobó un documento con el apoyo de la mayoría de los grupos parlamentarios, en el que se recomendaba que la participación de las energías renovables fuera del 20,8% en el año 2020.



**Ilustración 17: Porcentajes energía autóctona y combustibles importados.**

Este es el objetivo global que se recoge en el PER 2011-2020, que da respuesta, a su vez, al artículo 78 de la Ley 2/2011, de Economía Sostenible, que fija los mismos objetivos de la Directiva 2009/28/CE como los objetivos nacionales mínimos de energías renovables en 2020, estableciendo además que el Gobierno aprobará planes de energías renovables que hagan posible el cumplimiento de los objetivos fijados y que permitan la posibilidad efectiva de desarrollo de las energías renovables en todas las Comunidades Autónomas.

La Directiva 2009/28/CE es parte del denominado Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático, que establece las bases para que la UE logre sus objetivos para 2020: un 20% de mejora de la eficiencia energética, una contribución de las energías renovables del 20% y una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del 20%. Sin embargo, teniendo en cuenta las conclusiones adoptadas por los Jefes de Estado y de Gobierno de la Unión Europea, podría materializarse un aumento en el objetivo de reducción de GEI hasta alcanzar el 30% en 2020. En ese caso habrá que modificar los objetivos nacionales de reducción de estos gases y las políticas para conseguirlos, lo que podría suponer la revisión de los objetivos del PER.

Igualmente, la Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente, establece la necesidad de llevar a cabo una Evaluación Ambiental Estratégica, entendida como un instrumento de prevención que permita la integración de los aspectos ambientales en la toma de decisiones de los planes y programas públicos. Así, de acuerdo con la ley, se ha elaborado un Informe de Sostenibilidad Ambiental (ISA) del PER 2011-2020 y una Memoria Ambiental.



Esta última valora la integración de los aspectos ambientales en la propuesta de Plan. Asimismo, contiene las determinaciones finales que se incorporan al Plan de Energías Renovables 2011-2020, siendo preceptiva y de obligada consideración previo a la aprobación definitiva del presente Plan de Energías Renovables 2011-2020.

Por otro lado, el Informe de Sostenibilidad Ambiental del PER 2011-2020 contempla lo siguiente: diagnóstico ambiental del ámbito territorial de aplicación del PER 2011-2020; consideración de la normativa vinculante y de relevancia en el marco de la planificación de las energías renovables; identificación de los aspectos ambientales relevantes para la planificación de las energías renovables con un horizonte a 2020; planteamiento y análisis de las alternativas del PER 2011-2020, con la selección de la alternativa final y efectos significativos en el Medio Ambiente; acciones previstas para prevenir, reducir y eliminar, probables efectos negativos sobre el Medio Ambiente; seguimiento ambiental del Plan, etc.

Las fuentes de energía renovables a las que se refiere este Plan son las siguientes: biocarburantes y biolíquidos, biogás, biomasa, energías del mar, eólica, geotermia y otras energías del ambiente, hidroeléctrica, residuos (municipales, industriales y lodos de EDAR) y solar (fotovoltaica, térmica y termoeléctrica).

### 5.1.2 Contexto energético actual de las energías renovables en España.

Seguridad de suministro, respeto por el medio ambiente y competitividad económica son los ejes fundamentales de la política energética europea y española. Esta última, además, ha tenido que afrontar retos particulares: un consumo energético por unidad de producto interior bruto más elevado que la media europea, elevada dependencia energética del exterior y elevadas emisiones de gases de efecto invernadero, relacionadas con el crecimiento de los sectores de generación eléctrica y de transporte.

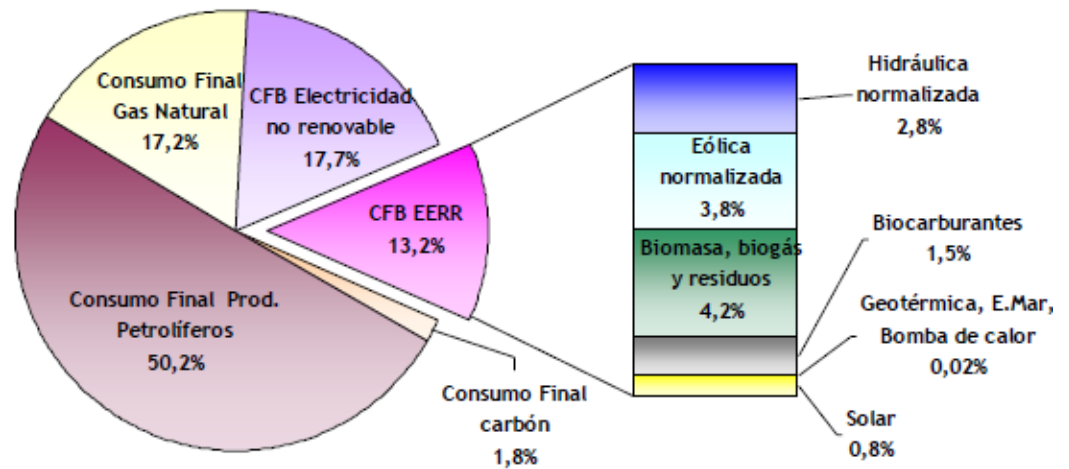
Durante los últimos años, la respuesta a los retos específicos del contexto energético **español** se ha centrado en potenciar la liberalización y fomentar la transparencia en los mercados, el desarrollo de las infraestructuras energéticas y la promoción del ahorro y la eficiencia energética, así como de las energías renovables. Respecto a estas últimas, sus beneficios para nuestro país son grandes con relación a sus costes que además tienden a bajar con el tiempo, a medida que progresa la tecnología.



Nuestro país ha dejado atrás la fase de lanzamiento de las energías renovables y se encuentra en la de consolidación y desarrollo. En ésta, y de acuerdo con la Ley 2/2011 de 4 de marzo de Economía Sostenible, los marcos de apoyo deberán basarse en los conceptos de estabilidad, flexibilidad para incorporar los avances tecnológicos, internalización de costes del sistema energético y priorización de la innovación. Y siempre sin perder de vista la configuración competencial del Estado.

España cuenta, en la actualidad, con un sólido marco normativo de apoyo a las energías renovables. Algunos de sus hitos fundamentales son: la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, que integró el Régimen Especial, regulado en el Real Decreto 661/2007; el Real Decreto ley 6/2009, por el que se establece el registro de preasignación de retribución para las instalaciones del régimen especial; el Real Decreto 1955/2000, que rige procedimientos de autorización; el Real Decreto 842/2002, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión junto a sus instrucciones técnicas complementarias; el Real Decreto 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación; la Ley 22/1973, de Minas (modificada por la Ley 54/1980) en lo que tiene que ver con la energía geotérmica; en materia de aguas, el Real Decreto Legislativo 1/2001; la Ley 9/2006 y el Real Decreto Legislativo 1/2008 en lo que respecta a la regulación en materia ambiental; la Orden ITC/2877/2008, por la que se establece un mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte; el Real Decreto 1578/2008, referente a la retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica; el Real Decreto 1565/2010, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial; el Real Decreto 1614/2010, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica a partir de tecnologías solar termoeléctrica y eólica; y el Real Decreto-ley 14/2010, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico. Más recientemente, la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible, que incluye, en su Artículo 78, los objetivos nacionales mínimos en materia de ahorro y eficiencia energética y energías renovables.

Como resultado de la política de apoyo a las energías renovables, en el marco del Plan de Energías Renovables 2005-2010, el crecimiento de éstas durante los últimos años ha sido notable, y así, en términos de consumo de energía primaria, han pasado de cubrir una cuota del 6,3% en 2004 a alcanzar el 11,3% en 2010. Este porcentaje correspondiente al año 2010 se eleva al 13,2% si se calcula la contribución de las energías renovables sobre el consumo final bruto de energía, de acuerdo con la metodología establecida en la Directiva 2009/28/CE. El gráfico siguiente muestra la estructura de este consumo.

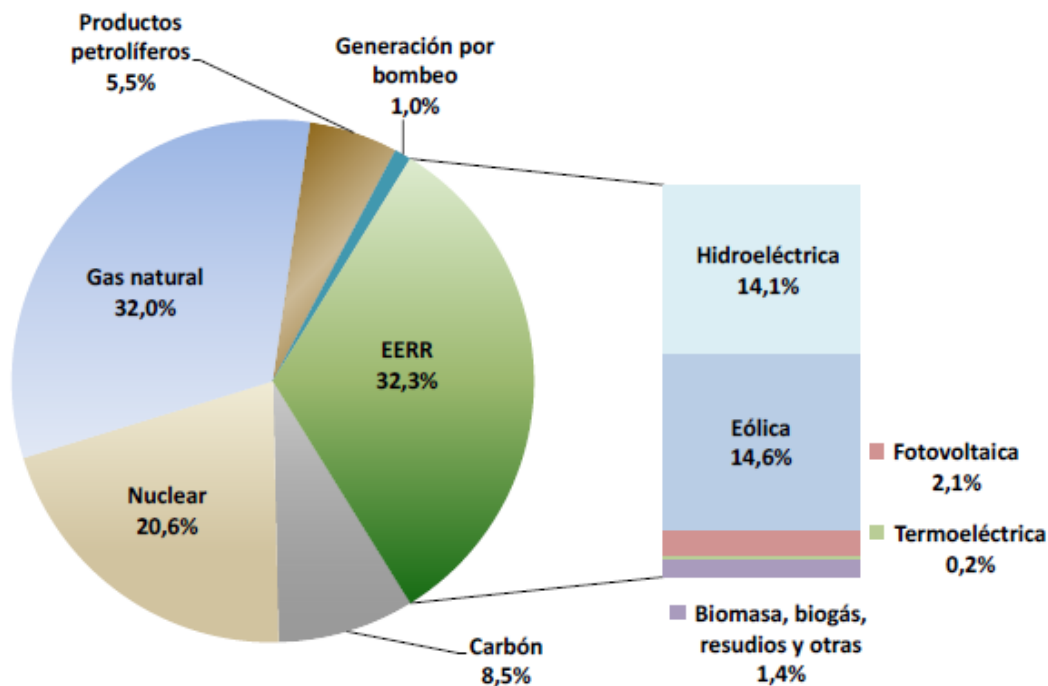


**Ilustración 18: Consumo final bruto de energía en 2010.**

En cuanto al papel de las renovables en la generación eléctrica, su contribución al consumo final bruto de electricidad ha pasado del 18,5% en 2004 al 29,2% en 2010. Estos datos corresponden a un año normalizado, pues los datos reales indican un crecimiento desde el 17,9% en 2004 hasta el 33,3% en 2010.

Por otro lado, la contribución de la electricidad renovable a la producción bruta de electricidad en España en 2010 fue de un 32,3% y su distribución por fuentes se puede observar en la siguiente figura. En relación a la contribución de electricidad renovable del 33,3% en 2010 que se menciona en el párrafo anterior, es conveniente aclarar que dicha contribución ha sido calculada de acuerdo a la metodología de establecimiento de objetivos del PER 2005-2010, esto es, sobre el consumo bruto de electricidad, el cual se calcula restando las exportaciones y sumando las importaciones de electricidad a la producción bruta.





**Ilustración 19: Estructura de producción eléctrica 2010.**

Por último, las renovables en el transporte han dado durante estos últimos años un gran salto adelante, sobre la base de los incentivos al consumo de biocarburantes en ese sector. De este modo, el favorable tratamiento fiscal y la obligación de uso han llevado a un crecimiento constante del consumo de biocarburantes (calculado en contenido energético) sobre el consumo de gasolina y gasóleo (metodología definida en el PER 2005-2010), que han pasado de representar el 0,39% en 2004 al 4,99% en 2010.

#### 5.1.2.1 Necesidades de I+D+i.

Para alcanzar los objetivos establecidos para el año 2020, así como para allanar el camino para que la cuota de energía renovable sea mucho más elevada de 2020 en adelante, es preciso intensificar los esfuerzos en el ámbito de la I+D+i energética. Durante los últimos años el marco nacional de apoyo a la I+D+i ha facilitado que España alcance una posición de liderazgo en energías renovables, con grandes empresas y centros tecnológicos de investigación y desarrollo de prestigio internacional, como el CIEMAT y el CENER. Para el impulso del I+D+i en energía en el inmediato futuro se cuenta con la recientemente creada ALINNE, Alianza para la Investigación e Innovación Energéticas, un gran pacto nacional público-privado que pretende responder a los grandes retos de las actividades de



I+D+i en el ámbito del sector energético, contribuir a la definición de una estrategia nacional que ordene las políticas y programas públicos con las prioridades y necesidades de España en la materia, y jugar un papel protagonista en la fijación de una posición española común ante cada una de las situaciones que se planteen en materia de ciencia e innovación energética.

● **BIOGAS:** El plan de implementación a 2015, elaborado por BIOPLAT, identifica como retos tecnológicos la optimización del diseño y operación de los digestores, el acondicionamiento del biogás, la codigestión, la hibridación con otras tecnologías y la valorización del digestato. Además de éstas, dentro del marco del Proyecto Singular Estratégico PROBIOGÁS, se han identificado otras, como son los pretratamientos o nuevas aplicaciones del biogás.

### 5.1.3 Objetivos.

La Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, fija como objetivos generales conseguir una cuota mínima del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía de la Unión Europea (UE) y una cuota mínima del 10% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía en el sector del transporte en cada Estado miembro para el año 2020.

Para ello, establece objetivos para cada uno de los Estados miembros en el año 2020 y una trayectoria mínima indicativa hasta ese año. En España, el objetivo se traduce en que las fuentes renovables representen al menos el 20% del consumo de energía final en el año 2020 —mismo objetivo que para la media de la UE—, junto a una contribución mínima del 10% de fuentes de energía renovables en el transporte para ese año. Objetivos que, a su vez, han quedado recogidos en la Ley 2/2011, de Economía Sostenible.

A continuación, se presenta una tabla resumen que recoge tanto los objetivos obligatorios, como la senda indicativa de las cuotas de energía procedente de fuentes de energía renovables en el consumo final bruto, según marca la Directiva 2009/28/CE. En la misma se muestra también el grado de cumplimiento de dichos objetivos, teniendo en cuenta las previsiones de consumo final bruto de energía procedente de fuentes de energía renovables, las cuales se basan en la aplicación de las diferentes iniciativas propuestas en este Plan.

# CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE BIOGÁS GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS



Es importante destacar que, en las cuatro tablas siguientes, la metodología de cálculo empleada es la estipulada por la mencionada Directiva 2009/28/CE.

En las tablas 23, 24, 25 y 26 se desglosan, hasta el año 2020, los objetivos para cada uno de los sectores de consumo energético, a saber, sector eléctrico, sector calefacción y refrigeración y sector transporte respectivamente, desagregados para cada tecnología de energía renovable. Los datos desglosados corresponden a las filas A, B y C de la tabla 18.

**Tabla 23 : Objetivos globales del plan de energías renovables 2011-2020 y grado de cumplimiento de los objetivos obligatorios e indicativos de la Directiva 2009/28/CE.**

ktep	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>A.</b> Consumo final bruto de electricidad procedente de fuentes renovables	4.624	7.323	7.860	8.340	8.791	9.212	9.586	9.982	10.547	11.064	11.669	12.455
<b>B.</b> consumo final bruto de fuentes renovables para calefacción y refrigeración	3.541	3.933	3.992	4.034	4.109	4.181	4.404	4.651	4.834	5.013	5.152	5.357
<b>C.</b> Consumo final de energía procedente de fuentes renovables en el sector transporte	245	1.538	2.174	2.331	2.363	2.418	2.500	2.586	2.702	2.826	2.965	3.216
<b>C.1.</b> Consumo de electricidad procedente de fuentes renovables en el sector del transporte por carretera	0	0	0	0	5	11	21	34	49	67	90	122
<b>C.2.</b> Consumo de biocarburantes del artículo 21.2	0	5	15	45	75	105	142	167	193	177	199	252
<b>C.3.</b> Subtotal renovables para cumplimiento del objetivo en transporte: $(C)+(2,5-1) \times (C.1)+(2-1) \times (C.2)$	245	1.543	2.189	2.376	2.446	2.540	2.674	2.805	2.968	3.103	3.299	3.651
<b>D.</b> Consumo total de fuentes de energía renovables (evitando doble contabilización de la electricidad renovable en el transporte)	8.302	12.698	13.901	14.533	15.081	15.613	16.261	16.953	17.776	18.547	19.366	20.525
<b>E.</b> Consumo final bruto de energía en transporte	32.431	30.872	30.946	31.373	31.433	31.714	32.208	32.397	32.476	32.468	32.357	32.301
<b>F.</b> Consumo final bruto de energía en calefacción y refrigeración, electricidad y transporte	101.719	96.382	96.381	96.413	96.573	96.955	97.486	97.843	98.028	98.198	98.328	98.443
<b>Objetivos en el transporte (%)</b>												
Objetivo obligatorio mínimo en 2020												10,0%
Grado de cumplimiento del objetivo obligatorio en 2020 $(C.3/E)$												11,3%
<b>Objetivos globales (%)</b>												
Trayectoria indicativa (media para cada bienio) y objetivo obligatorio mínimo en 2020												20,0%
Grado de cumplimiento de la trayectoria indicativa y del objetivo obligatorio mínimo en 2020 $(D/F$ o $[D_{año1}+D_{año2}]/[F_{año1}+F_{año2}])$	8,2%	13,2%	14,7%	15,9%	17,0%	18,5%	19,7%					20,8%



**Tabla 24: Objetivos 2010,2015 y 2020 del plan de energías renovables 2011-2020 en el sector eléctrico (potencia instalada, generación bruta sin normalizar y generación bruta normalizada).**

	2010			2015			2020		
	MW	Gwh	Gwh (normalizados)(*)	MW	Gwh	Gwh (normalizados)(*)	MW	Gwh	Gwh (normalizados)(*)
<b>Hidroeléctrica (sin bombeo)</b>	13.226	42.215	31.614	13.548	32.538	31.371	13.861	33.140	32.814
<1 MW (sin bombeo)	242	802	601	253	772	744	268	843	835
1 MW-10 MW (sin bombeo)	1.680	5.432	4.068	1.764	4.982	4.803	1.917	5.749	5.692
>10 MW (sin bombeo)	11.304	35.981	26.946	11.531	26.784	25.823	11.676	26.548	26.287
por bombeo	5.347	3.106	(**)	6.312	6.592	(**)	8.811	8.457	(**)
<b>Geotérmica</b>	0	0	(**)	0	0	(**)	50	300	(**)
<b>Solar fotovoltaica</b>	3.787	6.279	(**)	5.416	9.060	(**)	7.250	12.356	(**)
<b>Solar termoelectrica</b>	632	691	(**)	3.001	8.287	(**)	4.800	14.379	(**)
<b>Energía hidrocinética, del oleaje, mareomotriz</b>	0	0	(**)	0	0	(**)	100	220	(**)
<b>Eólica en tierra</b>	20.744	43.708	42.337	27.847	55.703	55.538	35.000	71.640	70.734
<b>Eólica marina</b>	0	0	0	22	66	66	750	1.845	1.822
<b>Biomasa, residuos, biogás</b>	825	4.228	(**)	1.162	7.142	(**)	1.950	12.200	(**)
Biomasa sólida	533	2.820	(**)	817	4.903	(**)	1.350	8.100	(**)
Residuos	115	663	(**)	125	938	(**)	200	1.500	(**)
Biogás	177	745	(**)	220	1.302	(**)	400	2.600	(**)
<b>Totales (sin bombeo)</b>	<b>39.214</b>	<b>97.121</b>	<b>85.149</b>	<b>50.996</b>	<b>112.797</b>	<b>111.464</b>	<b>63.761</b>	<b>146.080</b>	<b>144.825</b>

(\*) En esta columna aparecen los valores normalizados para la producción hidráulica y eólica según se recoge en el Artículo 5, Apartado 3 de la Directiva 2009/28/CE, utilizando las fórmulas de normalización contenidas en su Anexo II.

(\*\*) Estas producciones no se normalizan. Se consideran los mismos valores que la producción sin normalizar.

**Tabla 25: Objetivos del plan de energías renovables en el sector de la calefacción y refrigeración.**

ktep	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Energía geotérmica (excluyendo el calor geotérmico de temperatura baja en aplicaciones de bomba de calor)</b>	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	5,2	6,4	7,1	7,9	8,6	9,5
<b>Energía solar térmica</b>	61	183	190	198	229	266	308	356	413	479	555	644
<b>Biomasa</b>	3.468	3.729	3.779	3.810	3.851	3.884	4.060	4.255	4.377	4.485	4.542	4.653
Sólida (incluye residuos)	3.441	3.695	3.740	3.765	3.800	3.827	3.997	4.185	4.300	4.400	4.450	4.553
Biogás	27	34	39	45	51	57	63	70	77	85	92	100
<b>Energía renovable a partir de bombas de calor</b>	7,6	17,4	19,7	22,2	24,9	28,1	30,8	33,6	37,2	41,2	45,8	50,8
De la cual aerotérmica	4,1	5,4	5,7	6,1	6,4	6,9	7,4	7,9	8,4	9,0	9,7	10,3
De la cual geotérmica	3,5	12,0	14,0	16,1	18,5	21,2	23,4	25,7	28,8	32,2	36,1	40,5
<b>Totales</b>	<b>3.541</b>	<b>3.933</b>	<b>3.992</b>	<b>4.034</b>	<b>4.109</b>	<b>4.181</b>	<b>4.404</b>	<b>4.651</b>	<b>4.834</b>	<b>5.013</b>	<b>5.152</b>	<b>5.357</b>



**Tabla 26: Objetivos del plan de energías renovables 2011-2020 en el sector del transporte.**

ktep	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Bioetanol/bio-ETBE</b>	113	226	232	281	281	290	301	300	325	350	375	400
<i>De los cuales biocarburantes del artículo 21.2 (*)</i>	0	0	0	0	0	0	7	7	7	19	19	52
<b>Biodiésel</b>	24	1.217	1.816	1.878	1.900	1.930	1.970	2.020	2.070	2.120	2.170	2.313
<i>De los cuales biocarburantes del artículo 21.2 (*)</i>	0	5	15	45	75	105	135	160	186	158	180	200
<b>Electricidad procedente de fuentes renovables</b>	107	96	126	172	182	198	229	266	307	356	420	503
<i>De la cual transporte por carretera</i>	0	0	0	0	5	11	21	34	49	67	90	122
<i>De la cual transporte no por carretera</i>	107	96	126	172	176	187	207	232	258	289	330	381
<b>Total biocarburantes</b>	137	1.442	2.048	2.159	2.181	2.220	2.271	2.320	2.395	2.470	2.545	2.713
<b>Total EERR en el transp.</b>	245	1.538	2.174	2.331	2.363	2.418	2.500	2.586	2.702	2.826	2.965	3.216

(\*) Artículo 21, Apartado 2 de la Directiva 2009/28/CE: biocarburantes obtenidos a partir de desechos, residuos, materias celulósicas no alimentarias y material lignocelulósico.

Como se puede observar tras el periodo de vigencia del PER la energía eólica será la fuente renovable con la participación más importante y el conjunto de tecnologías que permiten el aprovechamiento de la energía solar continuará extendiendo su aportación. La biomasa, el biogás y los residuos confirmarán su despegue con aportaciones significativas en la estructura de abastecimiento eléctrico.

La tabla 25 recoge los objetivos para las tecnologías de generación de calor/frío, que incluyen la energía geotérmica (entre ellas la bomba de calor), la solar térmica, la biomasa y el biogás.

#### 5.1.4 Suspensión PER 2011-2020.

-Se pretende poner un freno temporal a un sistema de retribución que entraña unos costes demasiado elevados para el sistema eléctrico, que provocan un incremento continuo del déficit de tarifa.

-La medida no pondrá en riesgo la seguridad de suministro ni el cumplimiento de los objetivos renovables con la Unión Europea.

-Se suspenderán temporalmente los procedimientos de preasignación de retribución y se suprimirán también temporalmente los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovable y residuos.

-No afectará a las instalaciones en marcha ni a aquellas ya inscritas en los preregistros.



Dada la crisis económica y la situación del sistema eléctrico, que arrastra un elevado y creciente déficit de tarifa que amenaza su sostenibilidad, el Consejo de Ministros aprobó el pasado día 27 de enero un Real Decreto Ley para suspender temporalmente los procedimientos de preasignación de retribución renovable y suprimir, también con carácter temporal, los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable, residuos y cogeneración.

La compleja situación económica y financiera aconseja la supresión de los incentivos para la construcción de estas instalaciones, con carácter temporal, mientras se pone en marcha una reforma del sistema eléctrico que evite la generación de déficit tarifario, esto es, la diferencia entre los ingresos procedentes de los peajes de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica y los costes de las actividades reguladas del sistema. Las medidas emprendidas hasta la fecha no han resultado suficientes para corregir este déficit, que constituye una barrera para el adecuado desarrollo del sector en su conjunto y, en particular, para la continuación de las políticas de fomento a la producción eléctrica a partir de fuentes de energía renovable.

Los objetivos de potencia para el año 2020 recogidos en el recientemente aprobado Plan de Energías Renovables permiten al Gobierno disponer de un holgado margen de maniobra en la fijación de la senda de implantación de las instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables desde el momento actual.

Este hecho, unido a que la capacidad de generación instalada actual es suficiente para asegurar la cobertura de la demanda prevista, hacen que esta medida no afecte a la seguridad de suministro ni a los compromisos de España para con la Unión Europea en materia de producción renovable de cara a 2020.

El Gobierno mantiene su apuesta firme por las energías renovables como parte indispensable del mix energético de nuestro país. En 2011, un 93% de la potencia instalada fue de origen renovable y estas instalaciones cubrieron un 33% de la demanda eléctrica, lo que convierte a España en uno de los países más avanzados en este sentido. Sin embargo, mantener el actual sistema de retribución no es compatible con la situación actual de crisis económica y de descenso de la demanda por lo que, mientras se reforma el sistema y se avanza hacia un marco retributivo renovable que promueva una asignación eficiente de recursos, se procede a paralizar temporalmente el sistema retributivo.



En paralelo, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo ha remitido a la Comisión Nacional de la Energía dos cartas en las que se le solicita que se pronuncie sobre todos los aspectos relevantes para abordar el problema del déficit tarifario tanto en el sector eléctrico como en el del gas.

Instalaciones afectadas: La medida afectará a aquellas instalaciones que todavía no han sido inscritas en el registro de preasignación de régimen especial en la fecha de entrada en vigor del Real Decreto Ley así como para las instalaciones de régimen ordinario que a la fecha de entrada en vigor de la norma no tuvieran autorización administrativa otorgada por la Dirección General de Política Energética y Minas.

La suspensión afectará a las tecnologías acogidas al régimen especial, esto es, la eólica, solar fotovoltaica, termosolar, cogeneración, biomasa, biogás, minihidráulica y de residuos, así como a las instalaciones de régimen ordinario de tecnologías asimilables a las incluidas en el régimen especial.

La norma no tiene carácter retroactivo, es decir, no afectará a las instalaciones ya en marcha, a las primas ya autorizadas ni tampoco a las instalaciones ya inscritas en los registros de preasignación. Asimismo, aquellas instalaciones en trámite que no estuvieran inscritas en el prerregistro en el momento de entrada en vigor de la norma, tienen la posibilidad de desistir de su solicitud de inscripción en el registro de preasignación, en cuyo caso se les devolverán íntegramente los avales depositados. Además, también se devolverán los avales a aquellas instalaciones inscritas en los prerregistros que, en el plazo de dos meses desde la entrada en vigor de la norma, opten por no llevar a cabo la ejecución de la instalación.

## 5.2 Producción de Biogás en España.

Para el caso del biogás, los objetivos del PER 2005-2010 eran incrementar en 94 Mw. la potencia instalada en 2004 que era de 141 Mw para de esa forma alcanzar la final del 2010 los 235 Mw. No obstante, de acuerdo con datos del IDAE la potencia instalada de biogás en 2009 es de 159 MW y por tanto el nivel de cumplimiento hasta 2010 es del 68%, siendo necesaria la instalación de 76 Mw. adicionales durante el año 2010 para alcanzar las previsiones del PER 2005-2010.

La referida potencia instalada de 159 Mw, que generan aproximada 600 GWh. de electricidad, procede fundamentalmente de biogás de tres fuentes: residuos sólidos urbanos, lodos de depuradoras de aguas residuales urbanas (EDAR) y de subproductos orgánicos agroindustriales. En la tabla 28 se reseñan los porcentajes de cada una de estas fuentes.



**Tabla 27 : Distribución del biogás en España.**

Procedencia	2010	2010
Vertederos de RSU	115 Mw	72,3 %
Digestores FORSU	19 Mw	12,0 %
Lodos de EDAR	11 Mw	6,9 %
Digestores Agroindustriales	14 Mw.	8,8%

Fuente: IDAE

Las previsiones del PER 2005-2010 establecían los siguientes objetivos según sustrato y potencial de producción de biogás: 110.000 tep procedentes de la fracción orgánica de los RSU, 40.000 tep procedentes de residuos industriales biodegradables, 30.000 tep procedentes de lodos EDAR y 8.000 tep procedentes de las deyecciones ganaderas.

No obstante, aunque actualmente el 72,3% de la producción de biogás en España tiene su origen en los vertederos, esta proporción deberá disminuir en los próximos años, debido a que la nueva Directiva sobre vertederos pretende conseguir, entre otros objetivos, que la cantidad de materia orgánica que se deposite en los mismos sea cada vez menor.

Estas restricciones legales de los vertederos, unido a la tendencia descendente de la curva de generación de gas de los mismos, van a reducir considerablemente la producción de biogás en un inmediato futuro y por otra parte se debe tener en cuenta que el biogás de lodos de depuradoras se mantendrá en los niveles actuales de producción, una vez que ya se han finalizado en España los planes de depuración de aguas residuales urbanas en los principales núcleos urbanos.

En consecuencia, si se quiere mantener o incrementar la generación de energía a partir del biogás en España, deberá procederse al impulso de la digestión anaerobia de los estiércoles ganaderos en codigestión con residuos agroindustriales.





## 5.2.1 Depuración y aprovechamiento energético del biogás.

### 5.2.1.1 Sistemas de depuración del biogás.

Además del metano y dióxido de carbono, el biogás también está formado por determinadas impurezas en pequeñas proporciones. Estas impurezas y sus efectos se reseñan en la tabla 28.

**Tabla 28: Sustancias contaminantes en el biogás y sus efectos.**

SUSTANCIA	EFEECTO
H <sub>2</sub> S	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Corrosión</li><li>▪ Toxicidad</li><li>▪ Formación de ácido sulfúrico</li></ul>
Agua	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Formación de condensados</li><li>▪ Formación de soluciones ácidas</li></ul>
CO <sub>2</sub>	Reducción de poder calorífico
Partículas	Decantación, obturación
NH <sub>3</sub>	Formación de óxidos de nitrógeno durante la combustión

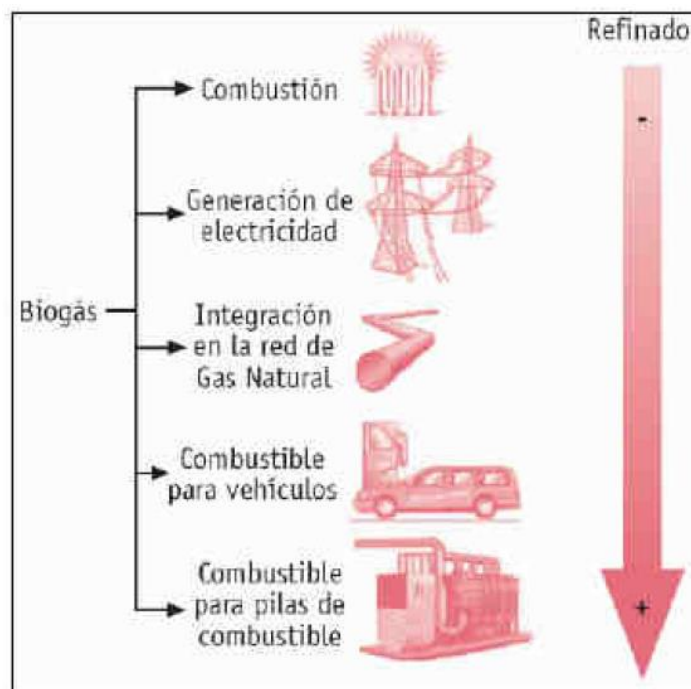
Dependiendo del uso final que tenga el biogás, es necesaria una limpieza del combustible más o menos exhaustiva, para eliminar H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, agua y partículas sólidas, tal y como se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla 29: Nivel del tipo de tratamiento del biogás según su uso final.**

USOS DEL BIOGÁS	ELIMINACIÓN DE AGUA	ELIMINACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO	ELIMINACIÓN DE SULFURO DE HIDRÓGENO
Producción térmica en calderas	Parcial	No	No/Parcial/ Elevado
Producción eléctrica y térmica en motores de cogeneración	Parcial / Elevado	No/Parcial/ Elevado	Parcial / Elevado
Combustible para vehículos	Elevado	Elevado	Elevado
Red de gas natural	Elevado	Elevado	Elevado
Pilas de combustible	Elevado	Elevado	Elevado

El biogás debe ser depurado previamente en cualquiera de sus aplicaciones energéticas y los requerimientos en cuanto al refinado son mayores cuando se utiliza como combustible de vehículos, se inyecta en la red de gas natural o se utilizan en pilas de combustible, como queda reseñado esquemáticamente en la figura 30:

**Tabla 30: Diferentes tipos de aprovechamiento del biogás en función de su grado de depuración. Fuente: Colección de informes de vigilancia tecnológica de Madrid.**





Los métodos de depuración del biogás más comunes son:

· **Desulfuración:** es el proceso de depuración del biogás más habitual, ya que se encuentra presente en el diseño de todas las plantas. Existen tres tipos de desulfuración:

- **Microaerofílica:** consiste en la inyección de pequeñas cantidades de aire en el espacio de cabeza del digestor donde se forman unas bacterias sulfooxidantes, que degradan el H<sub>2</sub>S, dando lugar a azufre elemental.
- **Desulfurización** biológica externa: se hace pasar al biogás a través de un biofiltro con relleno plástico sobre el que se adhieren las bacterias desulfurizantes; también se elimina NH<sub>3</sub>.
- **Adición de sales férricas:** consiste en añadir compuestos férricos al sustrato; de este modo se producen sulfatos insolubles que evitan la salida de azufre en forma de H<sub>2</sub>S al biogás. Con este último método conviene ser muy cuidadoso porque se puede causar la corrosión de los materiales y una gran disminución del pH del proceso.

Los residuos ganaderos son los sustratos que presentan unos mayores problemas relacionados con la producción de H<sub>2</sub>S.

· **Deshumidificación:** es un proceso de reducción del agua presente en el biogás, por condensación. El gas, pasa a través de unos tubos refrigerantes que condensan el agua. Existen otros métodos de deshumidificación menos habituales, como por ejemplo el filtrado del gas, el enfriamiento con agua a una temperatura de 4°C, etc.

· **Eliminación de CO<sub>2</sub>:** en el caso en el que se utilice el biogás para cualquier otro proceso que no sea su valorización en motores de cogeneración, será necesaria la eliminación del dióxido de carbono.

Los métodos posibles de eliminación de CO<sub>2</sub> del biogás son (los métodos que a continuación se presentan, están ordenados en orden creciente en cuanto a su coste y eficiencia): lavado con agua del CO<sub>2</sub>, lavado con disolventes orgánicos, filtración en carbón activo (el gas circula por el carbón activo, donde se retiene el CO<sub>2</sub>), separación por membranas (proceso de alta efectividad) y separación criogénica de las materias según el punto de ebullición (proceso que en la actualidad se encuentra en desarrollo).



### 5.2.1.2 Sistemas de aprovechamiento energético del biogás.

- **Motores de cogeneración:** los motores de cogeneración, son el sistema de aprovechamiento energético más habitual que existe. Por cogeneración se entiende el sistema de producción conjunta de energía eléctrica y de energía térmica recuperada de los gases de escape del motor. De esta forma, se hace un uso más completo de la energía, que la lograda mediante la generación convencional de electricidad, donde el calor generado en el proceso se pierde.

Los motores de cogeneración, pueden alcanzar un rendimiento energético de alrededor del 85%. Esto es debido a que este tipo de motores presentan normalmente un rendimiento eléctrico del orden del 35 al 42%. Siendo el restante rendimiento térmico, es decir, de entre el 30 y el 40%.

En cuanto al biogás, debe ser depurado para que no contenga ácido sulfhídrico, ya que los motores son sensibles a la presencia de elementos corrosivos, además de no poder tener un contenido en metano menor del 40%, para su uso en este tipo de dispositivos.

Un segundo sistema existente en este campo es el de los motores de **trigeneración**. Es un proceso similar al de cogeneración, en el que además de electricidad y calor, también se produce frío, utilizando como único combustible el biogás. En este tipo de motores se obtiene una mayor cantidad de calor, pero a una menor temperatura.

- **Microturbinas:** las microturbinas son sistemas de cogeneración (obtención de electricidad y calor), adecuados para pequeñas potencias (30 a 200 Kw) que pueden utilizar biogás como combustible, ya que las turbinas propiamente dichas no son muy utilizadas para la obtención energética de biogás (trabajan con potencias superiores de 500 Kw a 30 MW).

Las microturbinas pueden trabajar con biogás con un contenido en metano del 35% (menor que los motores de cogeneración), presentan una mayor tolerancia al H<sub>2</sub>S que los anteriores, son menos contaminantes y el mantenimiento necesario es más sencillo que el caso de los motores de cogeneración. Como inconvenientes: el rendimiento eléctrico obtenido es menor, del orden del 15-30% y por el momento, existen pocos suministradores; la tecnología en este caso no se encuentra tan implantada como en el de los motores de cogeneración. Las turbinas dan todo el calor residual en forma de gases de escape, por lo que el aprovechamiento es más simple que en motores donde tenemos parte del calor en agua y parte en gases.

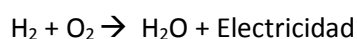


- **Combustible para vehículos:** desde hace varios años, ya existen vehículos que funcionan con gas natural. Se estima que los vehículos que utilizan este tipo de combustible emiten un 20% menos de CO<sub>2</sub> (el principal responsable del efecto invernadero), que los residuos que funcionan con gasolina o gasóleo. Para su uso en vehículos, el biogás necesita ser depurado exhaustivamente, reduciendo el CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y agua, y de esta forma elevar los niveles de metano en el gas hasta 96%. En España, en ciudades como Madrid o Barcelona, ya existen vehículos que utilizan biogás, en vehículos de transporte urbano.

Los motores de los vehículos que funcionan con biogás, presentan un mayor rendimiento que un motor convencional ya que existe una disminución del consumo energético. Los motores de estos vehículos son más duraderos y de menor ruido. En cuanto a los obstáculos para el uso generalizado de estos vehículos son: menor autonomía de conducción (alrededor de 150 km) y son motores que presentan un arrancado muy lento.

Según la Asociación europea de vehículos alimentados con gas natural (ENGVA, por sus siglas en inglés), en Europa existen 8.428.520 vehículos que funcionan con gas natural y existen 12.796 estaciones de llenado. Por otra parte en Suecia, la utilización de biogás para combustible para vehículos está muy extendida; por ejemplo, en el año 2006, más de 11.500 vehículos utilizaban metano como combustible.

- **Pilas de Combustible:** las pilas de combustible son sistemas electroquímicos, es decir, producen electricidad a través de una reacción química. A diferencia de las baterías convencionales, una pila de combustible no se acaba y no necesita ser recargada, ya que su funcionamiento es ininterrumpido mientras el combustible y el oxidante le sean suministrados. En el ánodo de la pila se inyecta combustible: hidrógeno, amoníaco o hidracina. El principio de funcionamiento de las pilas de combustible, es inverso con respecto a la electrólisis del agua:



Cuando el biogás se utiliza como combustible en las pilas de combustible, lo habitual es que éste sea primero depurado exhaustivamente y posteriormente transformado a hidrógeno. Los métodos más comunes para transformar el metano a hidrógeno son: el reformado con vapor de agua, la oxidación parcial y el auto-reformado.



Dado que el proceso de generación de electricidad también produce calor, las pilas de combustible también se pueden adaptar como sistemas de cogeneración, produciendo energía eléctrica y calorífica.

Esta es una tecnología sobre la que se están invirtiendo grandes esfuerzos económicos en investigación y desarrollo, por ello, seguro que las pilas de combustible serán una tecnología muy presente en un futuro no muy lejano.

#### 5.2.1.3 Integración en la red de gas natural.

Cuando el biogás se inyecta en las redes de gas natural recibe el nombre de biometano (biogás con más del 97% de su contenido en metano). Para conseguir este porcentaje de concentración de metano, el biogás tiene que ser depurado previamente, para de esta forma alcanzar los requerimientos de calidad exigidos para introducirlo en la red de distribución del gas natural. La purificación del biogás en este caso consiste en: eliminación de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ , agua y partículas sólidas.

Algunos países como Francia, Alemania y Suecia, han definido estándares de calidad del biogás, aunque sin embargo por el momento en España, todavía no disponemos de ninguna especificación.

Además de estas exigencias de depuración, es necesaria la compresión del biometano hasta la presión necesaria de distribución de la red, lo que repercute en unos costes de inversión y explotación elevados.

#### 5.2.2 Subproductos: Digestato.

El **digestato** es el subproducto semi-líquido resultante de la digestión anaerobia y tiene un uso potencial como **fertilizante** orgánico. El digestato puede aplicarse de forma directa, o previa separación en dos fracciones, sólida y líquida. La realización de estudios “a medida” sobre los digestatos, para evaluar y/o mejorar su calidad agronómica, recuperar nutrientes u otros componentes, puede proporcionar soluciones prácticas que aumenten la **rentabilidad de los proyectos de biogás**.



### 5.2.2.1 Aplicaciones.

El estudio sobre los digestados permite normalizar su uso (prácticas de manejo, dosis de aplicación, etc.) basado en conocimientos técnicos contrastados. Esto implica una mayor aceptación por parte de los agricultores y administración.

- Estudio de **tratamientos físicos** de los digestados (separación sólida/líquido por centrifugación, evaporación, secado, peletizado, etc.).
- Pruebas de **compostaje** de la fracción sólida.
- Evaluación de la **calidad de los digestatos** o sus fracciones: NKP, contaminantes químicos (pesticidas u otras sustancias xenobioticas), contaminantes biológicos (patógenos, patógenos, semillas de malas hierbas y larvas o huevos de insectos...).
- **Aplicación** del digestato **en cultivos**: pruebas experimentales sobre cultivos hortofrutícolas, cereales, jardinería, u otros, pruebas experimentales en sistemas de riego por goteo (fertirrigación).
- Estudio de tratamientos químicos para **recuperación** de nutrientes, o biológicos para la depuración de la fracción líquida, recuperación de fibras vegetales, reciclaje de la fracción sólida para su uso como cama del ganado, o producción de microorganismos de interés entre otros.

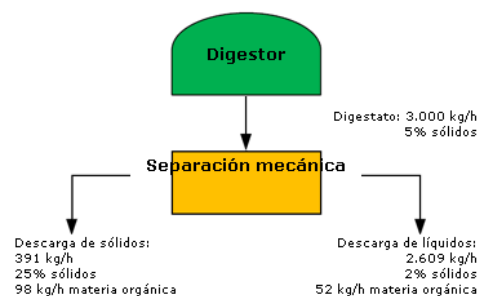
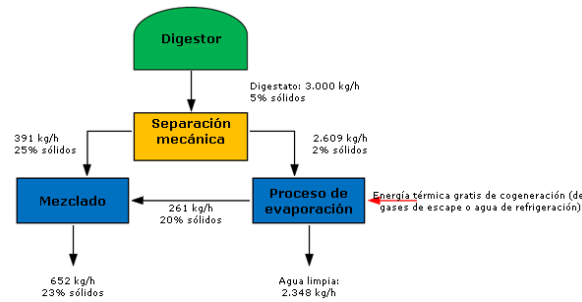


Ilustración 20 con procesamiento de digestato



**Ilustración 21: sin procesado de digestato.**

### **Ilustración 20:**

Con las cifras mostrados en el esquema simple (digestor + separación mecánica), y después del proceso de separación mecánica, podemos obtener hasta 391 kg/h (25% de sólidos) con 98 kg/h de materia orgánica que puede ser vendida como fertilizante. Sin embargo, a la salida de la descarga de líquidos, obtenemos 2.609 kg/h (2% sólidos) con 52 kg/h de materia orgánica, lo que:

- Representa el 35% de toda la materia orgánica del digestato.
- Corresponde al 87% del volumen total del digestato.
- Debe ser enviado al gestor de residuos (normalmente) y sus costes pueden ser tan altos como 25 €/ton (costes de transporte + costes de gestión).

Estas cifras arrojan un coste aproximado anual de 520.000 €/año (suponiendo 8.000 horas/año x 2,6 t/hora x 25 €/t).

### **Conclusiones:**

- La planta de biogás está tirando el 35% del fertilizante.
- La planta de biogás está pagando una gran cantidad de dinero para deshacerse de un gran volumen de desechos/residuos: más de 500.000 €/año.

Sería más lógico reducir el volumen del digestato en la misma planta y recuperar el 35 % de fertilizante que actualmente se pierde:

- Los costes por gestión de residuos se reducirían.
- Los ingresos por venta de fertilizante aumentarían.





### **Ilustración 21:**

En esta segunda ilustración, mediante evaporación del digestato, la recuperación del fertilizante se vería incrementada en un 53% (150 kg/h en lugar de 98 kg/h), y se ahorrarían **520.000 €** al no enviar digestato líquido al gestor de residuos.

#### 5.2.2.2 Almacenamiento.

El sistema de almacenamiento de los digeridos debe construirse con materiales y formas que garanticen la estanqueidad, evitando el riesgo de filtración y de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Asimismo, debe tener las dimensiones adecuadas que permita el almacenamiento de los digeridos al menos durante el periodo en que no es aconsejable su aplicación agrícola.

Según lo establecido por los Códigos de Buenas Prácticas Agrarias sobre el almacenamiento de estiércoles, podríamos sugerir que para los digeridos el volumen de almacenaje deberá ser suficiente para mantenerlo entre 1 a 4 meses antes de su distribución.

Atendiendo al post-tratamiento que se aplique al digerido tras la digestión anaerobia, se deberán considerar diferentes posibilidades de almacenamiento:

- Si el digerido no se somete a ningún proceso de separación, digerido bruto, se trata de un residuo que en la gran mayoría de los casos es líquido, por lo tanto, deberá almacenarse como si de un purín se tratara.

La balsa de almacenamiento deberá ser estanca y deberá estar cubierta, para evitar aportes de agua por la lluvia que aumentaría el volumen innecesariamente y reduciría la concentración de los elementos fertilizantes del digerido.



- Si el digerido se somete a un proceso de separación, la fracción sólida deberá tratarse como un estiércol, por ello el almacenamiento deberá realizarse sobre una superficie impermeable y resistente para soportar el peso de los productos generados y el paso de vehículos para su descarga, carga y distribución. Además, deberá tener un sistema de recogida de los líquidos lixiviados del material almacenado y de las aguas de lluvia (si no está cubierto), que deberá ser impermeable y estar redirigido hacia las balsas de almacenaje de líquidos. La fracción líquida deberá tratarse como el digerido sin separar, las fosas de almacenaje deberán ser estancas y cubiertas para evitar dilución innecesaria por las lluvias y emisiones de gases de efecto invernadero.

### 5.3 Producción de residuos agroindustriales aprovechables en España.

Para efectuar una evaluación del potencial del biogás agroindustrial en España, es imprescindible conocer previamente la producción total de las principales materias primas susceptibles de ser aprovechable en los digestores y teniendo en cuenta las particularidades de su producción, estimar la cantidad real de los mismos que pueden ser utilizados en la producción de biogás.

Aunque en la mayoría de los países europeos el desarrollo del biogás se ha efectuado en base a la utilización de los cultivos energéticos como co-sustrato, en España esta posibilidad se ve muy limitada por nuestras condiciones agroclimáticas.

En consecuencia, deberán buscarse co-sustratos alternativos entre los residuos de los cultivos y/o entre los SANDACH que al mezclarles con los estiércoles y purines permitan obtener unos rendimientos en producción de biogás que rentabilicen las instalaciones.

Por ello, a continuación, se efectuará una evaluación de los diferentes subproductos y residuos generados en la actividad agroindustrial española, entre los que se incluirán los estiércoles y purines del sector ganadero, los subproductos de origen animal no destinados al consumo humano (SANDACH), los residuos vegetales de la industria agroalimentaria, los subproductos de la industria de biocarburantes y los cultivos energéticos.

CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE BIOGÁS GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS  
AGROINDUSTRIALES EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS



A continuación, se recogen de una forma resumida, la producción de los diferentes tipos de subproductos agroindustriales y su potencial productivo de biogás. La información se ha agrupado según el tipo de subproducto, su producción y su potencial productivo de biogás.

TIPOS DE SUBPRODUCTOS	Tm/año o m <sup>3</sup> /año	PRODUCTO % SOBRE TOTAL	PRODUCCIÓN BIOGÁS (m <sup>3</sup> /año)	BIOGÁS % SOBRE TOTAL	PRODUCCIÓN UNITARIA DE BIOGÁS (m <sup>3</sup> /Tm o m <sup>3</sup> )
<b>Estiércoles y purines</b>					
Estiércol y gallinaza (Tm)	28.248.845	35,82%	1.029.806.723	53,36%	36,46
Purines porcino (m <sup>3</sup> )	45.960.512	58,27%	497.234.118	25,76%	10,82
<b>SUBTOTAL</b>	<b>74.209.357</b>	<b>94,09%</b>	<b>1.527.040.842</b>	<b>79,12%</b>	<b>20,58</b>
<b>SANDACH</b>					
Harinas.- CAT. 2 (Tm)	117.050	0,15%	54.896.450	2,84%	469,19
<b>SUBTOTAL</b>	<b>117.050</b>	<b>0,15%</b>	<b>54.896.450</b>	<b>2,84%</b>	<b>469</b>
<b>RESIDUOS AGROINDUSTRIALES</b>					
Vegetales (Tm)	125.000	0,16%	13.250.000	0,69%	106
Industrias agrícolas y ganaderas (Tm)	4.400.000	5,58%	321.013.000	16,63%	72,96
Glicerina (m <sup>3</sup> )	20.000	0,03%	13.720.000	0,71%	686
<b>SUBTOTAL</b>	<b>4.545.000</b>	<b>5,76%</b>	<b>347.983.000</b>	<b>18,03%</b>	<b>76,56</b>
<b>TOTAL</b>	<b>78.871.407</b>	<b>100,00%</b>	<b>1.929.920.292</b>	<b>100,00%</b>	<b>24,47</b>

**Ilustración 22: Resumen de la producción de subproductos agroindustriales y su potencial productivo de biogás. Mesa sobre materia prima agraria y biocombustibles. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid 16 septiembre de 2010.**

**Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino**

En consecuencia, de la tabla antes mostrada se desprende que el **potencial de generación de biogás agroindustrial en España es de aproximadamente 1.930 millones de m<sup>3</sup>/año, para una producción total de subproductos de 78,87 millones de toneladas por año.**

#### **Conclusiones sobre los Estiércoles y purines**

Los estiércoles y purines representan el 94,09 % de la producción total de subproductos agroindustriales y únicamente alcanzan el 79,12 % de la producción de biogás, existiendo por tanto un diferencial de 15 puntos porcentuales entre ambos parámetros. Ello es debido al escaso potencial de producción de biogás de los mismos, cuyo valor medio es de 20,58 m<sup>3</sup> de biogás/t.



Este reducido potencial productivo de biogás es más patente en el caso de los purines, que representando el 58,27 % de la producción total de subproductos agroindustriales, alcanzan únicamente el 25,76 % de la producción total de biogás y una producción unitaria media de 10,82 m<sup>3</sup> de biogás/m<sup>3</sup>de purín. Por tanto, los estiércoles y purines deberán ser considerados como subproductos fundamentales a la hora de efectuar un programa de producción energética de fuentes renovables, debido al volumen de los mismos y a sus excelentes características para ser metanizados, pero será imprescindible mezclar con otros subproductos de mayor potencial de producción de biogás (codigerir), para incrementar los ingresos por generación de biogás en las instalaciones.

### **Conclusiones sobre Subproductos de origen animal no destinados a consumo humano**

El caso de las harinas SANDACH es totalmente contrario al de los estiércoles y purines, pues con tan solo 0,15 % de producción tiene una capacidad de generación de biogás de 2,84 % y un valor medio 469 m<sup>3</sup> de biogás/t. Por tanto las harinas deben ser consideradas como excelentes subproductos para ser codigeridos cuando procedan de plantas de Categoría 2.

Actualmente la mayor parte de los SANDACH de Categoría 2 se procesan en instalaciones de Categoría 1 para obtener harinas y ello las invalida para ser utilizadas en plantas de biogás. Por tanto, una de las líneas futuras de actuación debería potenciar la construcción de plantas de Categoría 2 para de esta forma poder contar con un cosustrato de alta calidad para generar biogás.

### **Conclusiones sobre Residuos Agroindustriales: Vegetales, Industria Agrícola y Ganadera, Glicerina**

Entre los residuos agroindustriales existe una enorme variabilidad, tanto en producción como en potencial productivo de biogás. No obstante, de forma similar a las harinas SANDACH, con tan solo una producción de 5,76 % tiene una capacidad de generación de biogás del 18,03 %, con un valor medio 76,56 m<sup>3</sup> de biogás/t de residuo agroindustrial.

Estos tipos de subproductos, que en general tienen un marcado carácter estacional, su producción está muy dispersa y se localiza en ciertas áreas, tiene además elevados costes de manejo, por lo que su utilización como cosustrato se limite, en general, a instalaciones de biogás localizadas en áreas próximas de su punto de producción.

Posiblemente podría ser transportado fuera de las áreas de producción las harinas y la glicerina por sus elevadas ratios de generación de biogás de 469 m<sup>3</sup> de biogás/t y 686 m<sup>3</sup>de biogás/t respectivamente.



### 5.3.1 Producción de materia prima de origen ganadero.

#### 5.3.1.1 España.

De acuerdo con el censo agrario de 2009 se puede determinar la producción de estiércol y purines de toda la ganadería de España.

Esta producción total de estiércoles y purines del sector ganadero español, no puede tomarse íntegramente como fuente generadora de biogás del sector, ya que se deberán descontar los estiércoles purines del ganado extensivo y el estiércol producido por broilers debido a que se utiliza serrín como cama y éste material es perjudicial en la digestión del sustrato.

En este sentido, de acuerdo con las características productivas de las diferentes especies ganaderas españolas únicamente se consideran a efectos de cálculo del potencial de producción de biogás las especies enumeradas en la siguiente tabla:

RESIDUOS GANADEROS	
ESPECIE GANADERA	ESTIERCOLES (t/año)
VACUNO	
Vacas lecheras	18.476.328,00
Cebo	8.037.044,50
<b>TOTAL VACUNO</b>	<b>26.513.372,50</b>
OVINO (intensivo)	
<b>TOTAL OVINO</b>	<b>7.116.787,34</b>
CAPRINO (intensivo)	
<b>TOTAL CAPRINO</b>	<b>791.111,00</b>
AVICULTURA	
Aves Ponedoras	714.707,10
<b>TOTAL AVICULTURA</b>	<b>714.707,10</b>
ESPECIE GANADERA	PURINES (m <sup>3</sup> /año) (*)
PORCINO (intensivo)	
Cerdas	12.303.940,00
Lechones (6-20)	2.538.134,52
Cebo (20-100 kg)	31.118.437,80
<b>TOTAL PORCINO</b>	<b>45.960.512,32</b>
<b>TOTAL SECTOR GANADERO</b>	<b>81.096.490,26</b>

(\*) Se considera que la densidad del purín es 1, siendo 1 m<sup>3</sup> = 1 t

**Ilustración 23: Producción estiércoles y purines en España.**



A la hora de elaborar esta tabla de producción total de estiércoles y purines del sector ganadero español, he tomado directamente los residuos generadores de biogás, descontando los estiércoles y purines del ganado extensivo.

Es decir, de acuerdo con las características productivas de las diferentes especies ganaderas españolas, únicamente se consideran a efectos de cálculo del potencial de producción de biogás: el vacuno de leche y cebo, el porcino intensivo y la avicultura tanto de puesta como de carne (broilers).

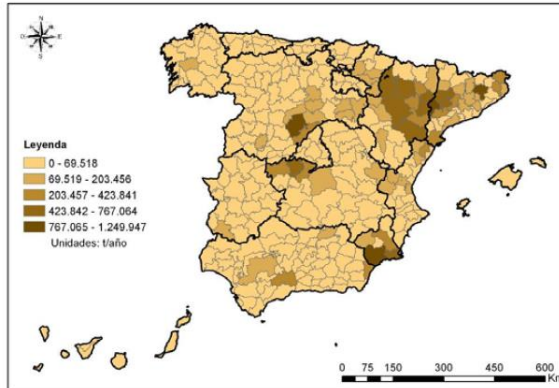
No obstante, teniendo en cuenta que la producción de broilers en España se efectúa preferentemente sobre cama de aserrín, este sustrato, que representan 1.020.765,70 de toneladas por año, tiene unos bajos índices de producción de biogás y por tanto, antes de decidir su incorporación en los digestores, deberá evaluarse esta circunstancia junto a que sus características intrínsecas puede causar problemas en el funcionamiento de los digestores.

A continuación se presentan los mapas de distribución por provincias de residuos ganaderos en España:

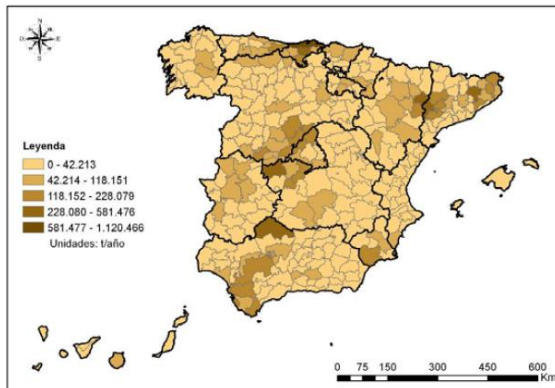
# CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE BIOGÁS GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS



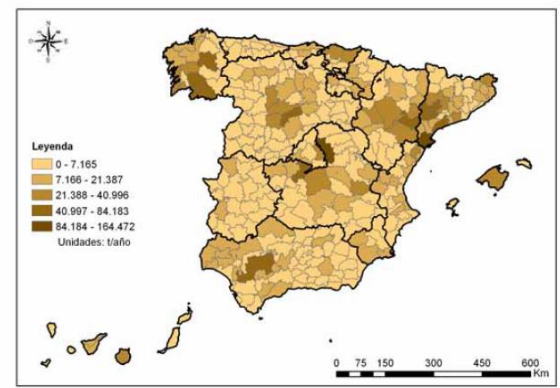
Tipo: G Ganaderos	Categoría: G1 Purín de cerdo	Subcategorías: G1.01 Lechones G1.02 Recría, cebo G1.03 Cerdas, verracos
----------------------	---------------------------------	--



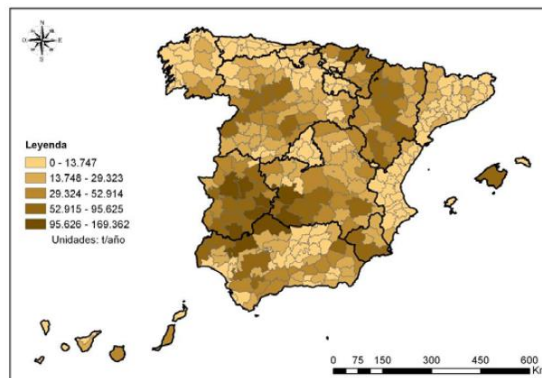
Tipo: G Ganaderos	Categoría: G2 Estiércol de vaca	Subcategorías: G2.01 Cebo G2.02 Reposición hembra G2.03 Reposición macho
----------------------	------------------------------------	---



Tipo: G Ganaderos	Categoría: G3 Gallinaza	Subcategorías: G3.01 Gallinas ponedoras G3.02 Pollos de carne y otros
----------------------	----------------------------	---



Tipo: G Ganaderos	Categoría: G4 Restos de otras especies	Subcategorías: G4.01 Corderos y chivos G4.02 Ovejas y cabras G4.03 Equinos
----------------------	---	---



**Ilustración 24: Mapas distribución residuos ganaderos España.**



### 5.3.1.2 Asturias

Asturias, cuenta con un notable potencial de recursos para la obtención de biogás. Destacando importancia del sector ganadero también debemos sumar los elementos procedentes de las industrias agroindustriales, así como la biomasa procedente de residuos urbanos o del tratamiento de aguas residuales. Además, se contempla un futuro uso de cultivos energéticos de crecimiento rápido como aporte vegetal en codigestión. La estimación del potencial de estos recursos en la actualidad es la siguiente en Asturias:

- \* Biomasa residual total: 8.400.000 t
- \* Biomasa residual accesible: 5.500.000 t
- \* Biomasa residual disponible: 793.909 t/año
- \* Bio-energía residual disponible: 47.600 tep/año
- \* Bio-energía procedente FORSU: 15.700 tep/año

Dentro de la biomasa accesible contamos dentro de los elementos vegetales especies como el maíz, girasol, remolacha, el cardo,...

Por otro lado en cuanto a biomasa de origen animal encontramos principalmente el purín de cerdo, estiércol de vaca, gallinaza, restos de otras especies

#### **Proyectos de referencia en Asturias**

- Vertedero Central de Asturias en Gijón (COGERSA):
  - Residuos tratados: 511.658 t/año (2014) de RSU y otros residuos no peligrosos (incluyendo fracción orgánica y no orgánica).
  - Volumen de biogás generado:  $34,8 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/año (2014).
- Planta de biometanización asociada al Vertedero
  - Central de Asturias con capacidad para el tratamiento de 30.000 t/año de residuos en Gijón (COGERSA):
  - Residuos tratados: 14.349 t/año (2014) de lodos EDAR.
  - Volumen de biogás generado: Incluido en la cifra anterior (2.982 t de digestato) (2014).
- Planta de biometanización de Biogás Fuel Cell en Tineo:
  - Residuos tratados: 2.100 t/año de aguas residuales de limpieza de la planta, residuos cárnicos, residuos de ganadería y residuos de la industria láctea.
  - Volumen de biogás generado: 73.000 m<sup>3</sup>/año.





Dividiendo el Principado de Asturias encontramos diferentes 10 zonas:

- **Belmonte de Miranda:**



Ilustración 25: zona de Belmonte de Miranda

- **Cangas de Narcea:**

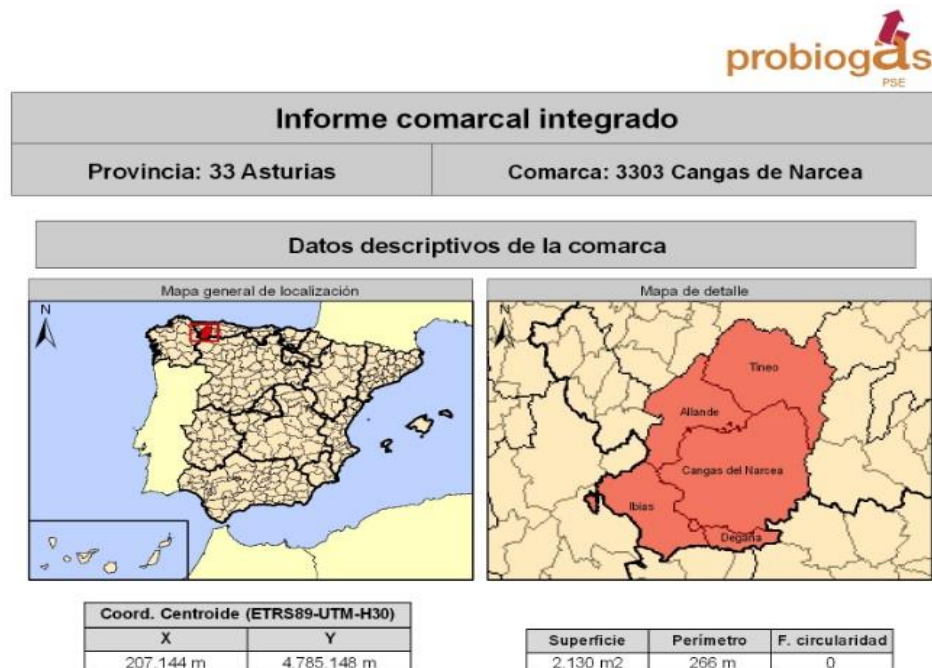


Ilustración 26: zona de Cangas de Narcea

- Cangas de Onís



Ilustración 27: zona Cangas de Onís

- Gijón



Ilustración 28 : zona de Gijón



- **Grado:**



Ilustración 29 : zona de Grado

- **Llanes:**



Ilustración 30 : zona de Llanes

- Luarca:



Ilustración 31 : zona de Luarca

- Mieres:

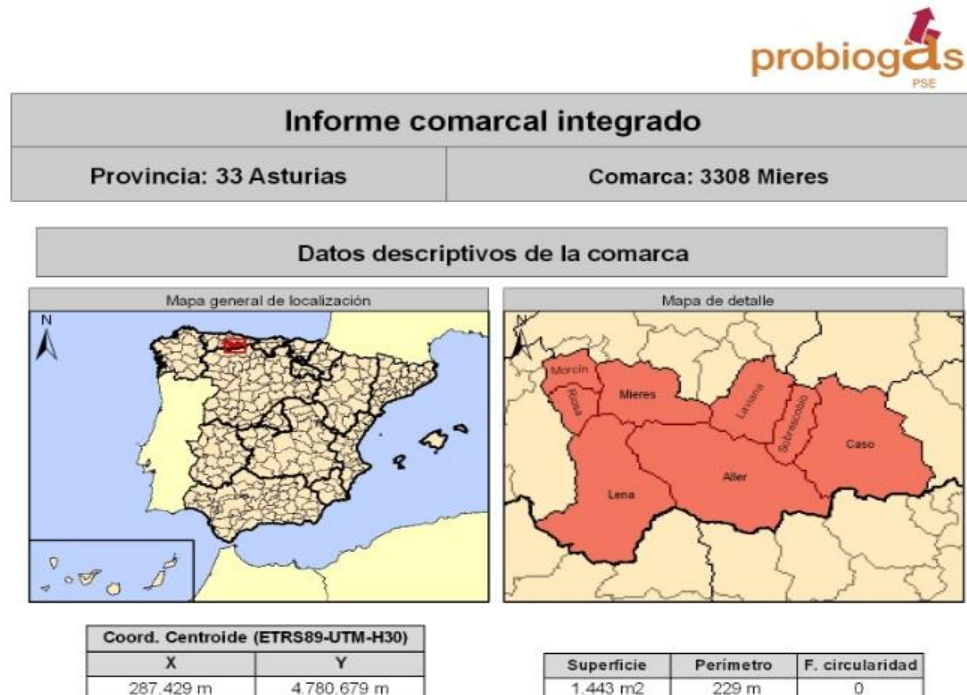


Ilustración 32 : zona de Mieres



- Oviedo:



Ilustración 33 : zona de Oviedo

- Vegadeo:



Ilustración 34: zona de Vegadeo.



**Tabla 31: Producción de estiércoles y purines de Asturias. Fuente: propia. Referencias al potencial accesible.**

	Estiércoles (t/año)					Purines (t/año)			
	Vacuno	Total Vacuno	Avicultura	Total Avicultura	Otras especies	Total otras especies	Porcino	Total Porcino	Total sector Ganadero
Belmonte de Miranda	63632	<b>504560</b>	166	<b>13120</b>	6556	<b>71699</b>	19	<b>4696</b>	<b>594.075</b>
Cangas de Narcea	34032		948		6624		525		
Cangas de Onís	103344		194		12430		1462		
Gijón	40070		2166		5734		571		
Grado	23584		520		5264		833		
Llanes	124225		610		8954		628		
Luarca	19996		596		5312		197		
Mieres	35821		218		11343		310		
Oviedo	57163		5931		7718		116		
Vegadeo	2693		1771		1764		35		

### 5.3.2 Materias primas de origen animal (excluyendo estiércoles y purines).

#### 5.3.2.1 España.

De acuerdo con estimaciones realizadas por la Comisión Nacional SANDACH, la generación potencial de subproductos de origen animal no destinados a consumo humano, en explotaciones ganaderas y en mataderos es de más de un millón ochocientas mil toneladas anuales. La Tabla que se muestra desglosa esta cifra por tipos de subproducto, origen y categoría.



**Tabla 32: Producción subproductos de origen animal en España**

**Fuente: Propia, referidas al potencial accesible.**

SUBPRODUCTOS ORIGEN ANIMAL		
ORÍGEN RESIDUO	CATEGORÍA SANDACH (1)	PRODUCCIÓN (t/año)
<b>SUBPRODUCTOS CÁRNICOS</b>		
Generados en la obtención de la canal en mataderos de carne	3	931.318
Generados en la obtención de la canal en mataderos avícolas	3	690.607
Residuos de estabulación de los animales durante el tiempo previo al sacrificio	2	354.150
Harinas cárnicas	2	9.000
Lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales de industrias cárnicas (lodos EDARI)	2	307.284
<b>TOTAL SUBP. CÁRNICOS</b>		<b>2.292.359</b>
<b>SUBPRODUCTOS LÁCTEOS</b>		
Lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales de industrias lácteas (lodos EDARI)	N.P.	303.262
Lactosuero	N.P.	2.734.763
Residuos de productos lácteos y otros	N.P.	88.827
<b>TOTAL SUBP. LÁCTEOS</b>		<b>3.126.852</b>
<b>SUBPRODUCTOS DE PESCADO</b>		
Residuos de pescado	N.P.	382.819
Lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales de industrias pesqueras (lodos EDARI)	N.P.	105.689
<b>TOTAL SUBP. DEL PESCADO</b>		<b>488.508</b>
<b>TOTAL RESIDUO ORIGEN ANIMAL</b>		<b>5.907.719</b>

(1) Reglamento (CE) nº 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano.

#### **Comentarios subproductos categoría 1**

Como se ha indicado anteriormente, para la obtención de biogás a partir de subproductos de categoría 1 el reglamento establece condiciones muy específicas de tratamiento y requiere la eliminación posterior del digestato, por lo que su utilización pierde interés como posible materia prima.



### **Comentarios subproductos categoría 2**

En cuanto al material de categoría 2 indicado en la Tabla anterior, requiere procesamiento previo con el método 1. Este procesamiento se lleva a cabo en plantas de transformación autorizadas que obtienen de los subproductos grasa y harinas de carne y hueso.

De acuerdo con el libro blanco de los SANDACH, la cantidad media de harina obtenida es del 40% del peso de la materia prima. Ello representaría una producción potencial de harinas de 117.050 toneladas anuales, que podrían utilizarse para la producción de biogás.

El problema es que en la actualidad apenas existen plantas de transformación autorizadas para categoría 2 (tres, a enero de 2010). La mayor parte de los cadáveres de animales se están procesando en plantas de categoría 1 (existen 23 a enero de 2010), por lo que adquieren a su vez esta categoría, perdiendo interés como materia prima para la producción de biogás.

### **Comentarios subproductos categoría 3**

En cuanto a los subproductos de Categoría 3, debe considerarse que algunos de ellos no serán utilizados en la producción de biogás por cuestiones técnicas: los huesos, cuernos, pezuñas, pelaje, plumas, patas, cabezas, cuellos (aves), pieles y pellejos. El resto de subproductos de esta categoría 3 son a priori buenas materias primas para la producción de biogás, por requerir sólo una pasteurización/higienización previas, pero son a la vez materias primas demandadas para la fabricación de piensos para animales de compañía (el sector cifra en 1.500.000 t aproximadamente el volumen de subproductos animales procesado en España para este fin).

Por tanto, para la utilización de subproductos de categoría 3 para la producción de biogás, los operadores tendrían que competir en el mercado por esta materia prima.

### **Conclusiones**

En consecuencia, en España de todos los subproductos potencialmente utilizables para la producción de biogás, los de categoría 2, una vez transformados en harinas de carne y hueso serían los más interesantes para la producción de biogás, al no disponer de una demanda tan elevada para otros usos, como sucede con la categoría 3, ni requerir requisitos específicos como ocurre con la categoría 1.





### 5.3.2.2 Asturias

**Tabla 33 Producción de biogás a partir de subproductos de origen animal de Asturias.**

FUENTE: PROPIA

	Cárnicos (t/año)		Lácticos(t/año)				Total sector cárnico y láctico
	Subprod. Cárnicos	Total Productos cárnicos	Lodos EDARI (lácteos)	Total Lodos EDARI (lácteos)	Lactosueros	Total Lactosueros	
Belmonte de Miranda	206	<b>15111</b>	0	<b>26959</b>	0	<b>140280</b>	<b>182.350</b>
Cangas de Narcea	777		0		0		
Cangas de Onís	319		3115		0		
Gijón	399		4157		25405		
Grado	343		2090		97202		
Llanes	345		2106		0		
Luarca	561		3054		0		
Mieres	285		3115		0		
Oviedo	11689		9284		0		
Vegadeo	187		38		17673		

### 5.3.3 Materias primas de origen vegetal de la industria agroalimentaria y los subproductos de la industria de biocarburantes.

#### 5.3.3.1 España.

En este apartado se va a cuantificar una serie de subproductos resultantes de la actividad agrícola y de la industria agroalimentaria, así como de la industria bioenergética, que se consideran susceptibles de ser utilizados en la producción de biogás, clasificándolos en tres grandes grupos:

- 1) Residuos vegetales.
- 2) Subproductos industria de transformación de productos agrícolas y ganaderos.
- 3) Subproductos de la industria bioenergética.



#### *5.3.3.1.1 Residuos vegetales.*

En este grupo se incluye una gran variabilidad de residuos, pero a efecto de su valorización como materia prima para producir biogás, se excluirán todos aquellos difícilmente metanizables por su alto contenido en celulosa o lignina, como es el caso de la paja de cereales y similares. También se excluirán las mermas de los cultivos hortícola y frutícola, debido a sus elevados costes y dificultades logísticas en la recuperación.

En consecuencia únicamente se tendrán en cuenta la “retirada de productos hortícola y frutícola” contempladas en los Programas Operativos del MARM y que para una producción total de 24 millones de toneladas de producción en el año 2008, se efectuaron unas retiradas por un montante total de aproximadamente 930.000 t.

#### *5.3.3.1.2 Subproductos industria de transformación de productos agrícolas y ganaderos.*

En este apartado se incluirán diferentes tipos de subproductos de las industrias de transformación del sector agrario, agrupadas en función de sus características intrínsecas para producir biogás y del volumen generado.

**Se excluyen** de este apartado la producción de alpechines de las almazaras, ya que actualmente en estas industrias se ha implantado con carácter general los sistemas de dos fases en el proceso de producción de aceite y resultando un residuo conocido como alperujo que debido a sus características intrínsecas son difícilmente metanizable.

Los residuos generados en las industrias de transformación de **frutas y hortaliza**, alcanzan anualmente una cifra estimada en 1.000.000 de toneladas. La generación de **bagazo de la industria cervecera** española se estima en 500.000 toneladas anuales.

**En la industria del vino** se generan lías y orujos del proceso en sí de producción del vino y las vinazas que se originan en la destilación de excedentes de vino. En la valoración energética de estos subproductos no se contabilizará la producción estimada de 550.000 toneladas anuales de orujos, ya que por sus características intrínsecas son difícilmente metanizable. Por tanto, en la industria del vino se generarán 250.000 toneladas anuales de lías y de la destilación de cuatro millones de hectolitros anuales se generan 350.000 toneladas anuales de vinazas.



La **industria azucarera** también es generadora de subproductos susceptibles de producir biogás, como la pulpa y la melaza de remolacha cuyas producciones anuales estimadas son de 280.000 toneladas y 220.000 toneladas respectivamente.

### 5.3.3.1.3 *Subproductos de la industria del biodiesel.*

De acuerdo con informes de Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA), la capacidad de producción de las instalaciones de producción de biodiesel en España en 2009 era de 4.088.820 t/año y la producción real fue de 204.693 t/año. Esta producción genera aproximadamente 20.000 toneladas de glicerina por año.

**Tabla 34: Producción de subproductos de origen vegetal en España. Fuente: propia.**

SUBPRODUCTOS ORIGEN VEGETAL	
ORÍGEN RESIDUO	PRODUCCIÓN (t/año)
RESIDUOS VEGETALES	
Retiradas vegetales	931.318
<b>TOTAL RETIRADAS VEGETALES</b>	<b>931.318</b>
INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN AGRICOLA Y GANADERA	
Frutas y hortalizas	1.000.000
Bagazo de cerveza	500.000
Vinazas	650.000
Pulpa de remolacha azucarera	280.000
Melaza de azucarera	220.000
<b>TOTAL INDUSTRIA TRANSFORMACIÓN</b>	<b>2.650.000</b>
INDUSTRIA DE BIOCARBURANTES	
Glicerina	20.000
<b>TOTAL INDUSTRIA BIOCARBURANTES</b>	<b>20.000</b>
<b>TOTAL SUBPROD. ORIGEN VEGETAL</b>	<b>3.601.318</b>



### 5.3.3.2 Asturias

#### PRODUCCIÓN SUBPRODUCTOS DE ORIGEN VEGETAL DE ASTURIAS

**Tabla 35: Producción de subproductos de origen vegetal en Asturias. Fuente: propia.**

Subproductos origen vegetal (t/año)					
	Productos de desecho vegetal	Total desecho vegetal	Mat. Prim. Procedentes sidra	Total mat. Proc. de la sidra	Total Sector Vegetal
Belmonte de Miranda	93	<b>5254</b>	0	<b>12230</b>	<b><u>17.484</u></b>
Cangas de Narcea	774		0		
Cangas de Onís	117		0		
Gijón	1644		11863		
Grado	756		0		
Llanes	294		0		
Luarca	400		0		
Mieres	369		0		
Oviedo	667		367		
Vegadeo	140		0		

En esta tabla se han agrupado dentro de productos de desecho vegetal los elementos con mayor relevancia (hortalizas, tubérculos,...).



## 5.4 Potencial de generación de biogás agroindustrial en España.

### 5.4.1 Introducción.

Para efectuar una evaluación del potencial del biogás agroindustrial en España, es imprescindible conocer previamente la producción total de las principales materias primas susceptibles de ser digeridos, como se ha ilustrado en el apartado anterior; y teniendo en cuenta las particularidades de su producción, estimar la cantidad real de los mismos que pueden ser utilizados en la producción de biogás. Aunque en la mayoría de los países europeos el desarrollo del biogás se ha efectuado en base a la utilización de los cultivos energéticos como cosustrato, en España esta posibilidad se ve muy limitada por nuestras condiciones agro-climáticas.

En consecuencia deberán buscarse cosustratos alternativos entre los residuos de los cultivos y/o entre los SANDACH que al mezclarles con los estiércoles y purines permitan obtener unos rendimientos en producción de biogás que rentabilicen las instalaciones.

Por ello, a continuación se efectuará una evaluación de los diferentes subproductos y residuos generados en la actividad agroindustrial española, entre los que se incluirán los estiércoles y purines del sector ganadero, los subproductos de origen animal no destinados a consumo humano (SANDACH), los residuos vegetales de la industria agroalimentaria y los subproductos de la industria de biocarburantes.

#### *DEFINICIONES:*



Ilustración 35 Tipos de potenciales.



- Potencial total: Potencial derivado de toda la materia prima que se genera.

Cantidad de materia prima calculada por indicadores estadísticos y coeficientes.

\*\*Resultados a nivel PROVINCIAL y COMARCAL.

El potencial total se deriva de materias primas que técnicamente pueden ser objeto de codigestión anaerobia para la producción de biogás.

- Potencial accesible: Parte del POTENCIAL TOTAL que puede ser objeto de gestión (recogida, transporte, almacenamiento) de forma viable.

Ejemplo de material NO accesible: deyecciones ganaderas de explotaciones extensivas.

- Potencial disponible: Parte del POTENCIAL ACCESIBLE que queda, una vez descontado los usos alternativos.

Ejemplo de usos alternativos: alimentación animal, compost, recuperación de compuestos activos, etc.

- Coeficientes PB: Coeficiente Productividad de Biogás (PB) de cada materia prima. Datos obtenidos de forma experimental (ensayos batch realizados en PROBIOGAS) o bibliográfica. Se aplican PBs suponiendo operación en continuo (no máximo potencial) donde el % biodegradación es menor.

- Potencial energético: Potencial de producción de biogás. Calculado a partir de las toneladas disponibles de las materias primas y sus correspondientes PBs. Resultados en forma de POTENCIAL ACCESIBLE Y DISPONIBLE.

-Resultados a Nivel COMARCAL Y PROVINCIAL.

### *METODOLOGÍA GENERAL DE CÁLCULO DE POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN ESPAÑA:*

Para el cálculo de potencial de producción de biogás en España se han determinado potenciales medios estimados de biogás de cada materia prima o agrupación de materias primas (Nm<sup>3</sup> biogás/t o NL biogás/kg).

***Los datos se ha obtenido de forma experimental (ensayos batch) en el marco de PROBIOGAS o bien proceden de referencias bibliográficas de calidad.***

Para el cálculo del potencial no se multiplican directamente los potenciales medios estimados ya que estos suponen el potencial “máximo”. Se han aplicado potenciales medios minorados considerando una operación en continuo donde la tasa de biodegradación de los sólidos volátiles suele ser menor.



*Para la conversión del potencial energético obtenido en metros cúbicos por año por residuos y por provincia (Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/año; Nm<sup>3</sup>: volumen referido a condiciones estándar, esto es, a 0°C y 1 bar de presión) a kilotoneladas equivalentes de petróleo por año (ktep/año), se han considerado un Poder Calorífico Inferior (PCI) de 9,96 kWh/Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>. Asimismo, se ha aplicado la equivalencia 1kWh= 8,6.10<sup>-5</sup> tep.*

*1 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> =85,656. 10<sup>-5</sup> tep*

## 5.4.2 Materias primas de origen ganadero.

### 5.4.2.1 España.

A la hora de elaborar la tabla, ya se han descontado los estiércoles y purines del ganado extensivo. En este sentido, de acuerdo con las características productivas de las diferentes especies ganaderas españolas, únicamente se consideran a efectos de cálculo del potencial de producción de biogás: el vacuno de leche y cebo, el porcino intensivo y la avicultura tanto de puesta como de carne (descontando los broilers, debido a los problemas que pueden causar en el funcionamiento de los digestores).

A partir de la producción de materia prima de origen ganadero y conociendo una aproximación de la producción de biogás para cada residuo podemos determinar el potencial de producción para esta materia prima:

**Tabla 36 Producción de biogás a partir de estiércoles y purines en España.**

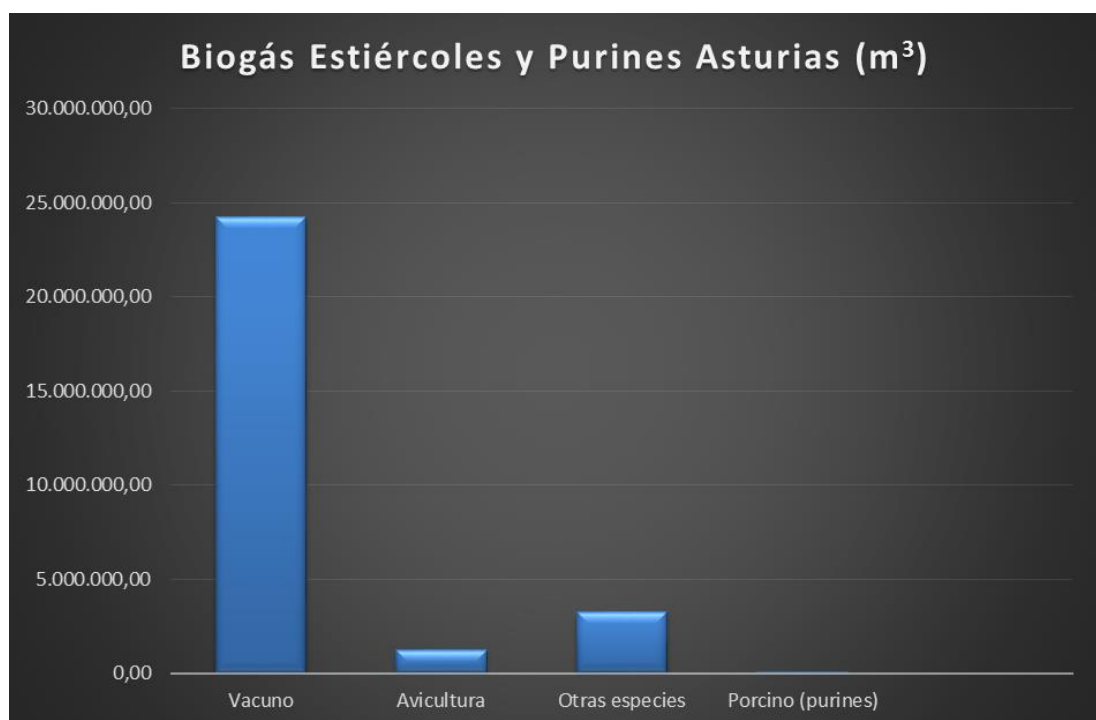
RESIDUOS GANADEROS			
ESPECIE GANADERA	ESTIERCOLES (t/año)	PRODUCCIÓN BIOGÁS (m <sup>3</sup> /t estiércol)	PRODUCCIÓN TOTAL (m <sup>3</sup> )
VACUNO			
Vacas lecheras	18.476.328,00	24,00	443.431.872,00
Cebo	8.037.044,50	48,00	385.778.136,00
<b>TOTAL VACUNO</b>	<b>26.513.372,50</b>	<b>31,28</b>	<b>829.210.008,00</b>
OVINO (intensivo)			
<b>TOTAL OVINO</b>	<b>7.116.787,34</b>	<b>45,00</b>	<b>320.255.430,30</b>
CAPRINO (intensivo)			
<b>TOTAL CAPRINO</b>	<b>791.111,00</b>	<b>47,00</b>	<b>37.182.217,00</b>
AVICULTURA			
Aves Ponedoras	714.707,10	95,00	67.897.174,50
<b>TOTAL AVICULTURA</b>	<b>714.707,10</b>	<b>95,00</b>	<b>67.897.174,50</b>
ESPECIE GANADERA	PURINES (m <sup>3</sup> /año) (*)	PRODUCCIÓN BIOGÁS (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> purín)	PRODUCCIÓN TOTAL (m <sup>3</sup> )
PORCINO (intensivo)			
Cerdas	12.303.940,00	8,00	98.431.520,00
Lechones (6-20)	2.538.134,52	10,00	25.381.345,20
Cebo (20-100 kg)	31.118.437,80	12,00	373.421.253,60
<b>TOTAL PORCINO</b>	<b>45.960.512,32</b>	<b>10,82</b>	<b>497.234.118,80</b>
<b>TOTAL SECTOR GANADERO</b>	<b>81.096.490,26</b>	<b>21,60</b>	<b>1.751.778.948,60</b>



Para llevar a cabo la siguiente tabla utilizaremos los datos totales obtenidos en las tablas anteriores para realizar el cálculo de producción de biogás, la tabla se hará con las cantidades totales, es decir todas las zonas que conforman el Principado de Asturias.

**Tabla 37 Producción de biogás a partir de estiércoles y purines en Asturias. Fuente Propia**

Producción de biogás a partir de estiércoles y purines en Asturias					
	Vacuno	Avicultura	Otras especies	Porcino (purines)	Total sector Ganadero (m3)
Coefficiente unitario (m3/t estiércol o purín)	48,00	95,00	45,00	10,82	28.746.345,72
Producción de biogás total (Incluyendo todas las comarcas)	24.218.880,00	1.250.200,00	3.226.455,00	50.810,72	



**Ilustración 36 : Gráfico Total sector ganadero Zonas de Asturias**





### 5.4.3 Materias primas de origen animal (excepto estiércoles y purines).

#### 5.4.3.1 España.

En el caso de residuos de origen animal (excepto estiércoles y purines) es necesario tener en cuenta la normativa Sandach para su tratamiento.

Como ya se ha mencionado anteriormente en función de la categoría del residuo según la normativa Sandach, le corresponderá un tratamiento para poder ser aprovechado como biogás. Según la normativa para la obtención de biogás a partir de subproductos de categoría 1 se establece condiciones muy específicas de tratamiento y requiere la eliminación posterior del digestato, por lo que su utilización pierde interés como posible materia prima.

En cuanto al material de categoría 2 indicado requiere procesamiento previo con el método 1. Este procesamiento se lleva a cabo en plantas de transformación autorizadas que obtienen de los subproductos grasa y harinas de carne y hueso. El proceso consiste en disminuir la granulometría del residuo a 50 mm y tratarlo a 133 °C y 3 bar durante 20 minutos.

El problema es que en la actualidad apenas existen plantas de transformación autorizadas para categoría 2 (tres, a enero de 2012).

En cuanto a los subproductos de Categoría 3, debe considerarse que algunos de ellos no serán utilizados en la producción de biogás por cuestiones técnicas: los huesos, cuernos, pezuñas, pelaje, plumas, patas, cabezas, cuellos (aves), pieles y pellejos. El resto de subproductos de esta categoría 3 son a priori buenas materias primas para la producción de biogás, por requerir sólo una pasteurización/higienización previas, pero son a la vez materias primas demandadas para la fabricación de piensos para animales de compañía.

Por tanto, para la utilización de subproductos de categoría 3 para la producción de biogás, los operadores tendrían que competir en el mercado por esta materia prima.



Tabla 38 producción de Biogás a partir de subproductos animales. Fuente: propia.

SUBPRODUCTOS ORIGEN ANIMAL			
ORÍGEN RESIDUO	PRODUCCIÓN (t/año)	PROD. BIOGÁS (m <sup>3</sup> /t o m <sup>3</sup> )	PRODUCCIÓN TOTAL (m <sup>3</sup> )
SUBPRODUCTOS CÁRNICOS			
Generados en la obtención de la canal en mataderos de carne	931.318	45,00	41.909.310
Generados en la obtención de la canal en mataderos avícolas	690.607	52,00	35.911.564
Residuos de estabulación de los animales durante el tiempo previo al sacrificio	354.150	49,00	17.353.350
Harinas cármicas	9.000	469,00	4.221.000
Lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales de industrias cármicas (lodos EDARI)	307.284	124,00	38.103.216
<b>TOTAL SUBP. CÁRNICOS</b>	<b>2.292.359</b>	<b>59,98</b>	<b>137.498.440</b>
SUBPRODUCTOS LÁCTEOS			
Lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales de industrias lácteas (lodos EDARI)	303.262	232,00	70.356.784
Lactosuero	2.734.763	50,00	136.738.150
Residuos de productos lácteos y otros	88.827	182,00	16.166.514
<b>TOTAL SUBP. LÁCTEOS</b>	<b>3.126.852</b>	<b>71,40</b>	<b>223.261.448</b>
SUBPRODUCTOS DE PESCADO			
Residuos de pescado	382.819	34,00	13.015.846
Lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales de industrias pesqueras (lodos EDARI)	105.689	27,00	2.853.603
<b>TOTAL SUBP. DEL PESCADO</b>	<b>488.508</b>	<b>32,49</b>	<b>15.869.449</b>
<b>TOTAL RESIDUO ORIGEN ANIMAL</b>	<b>5.907.719</b>	<b>63,75</b>	<b>376.629.337</b>

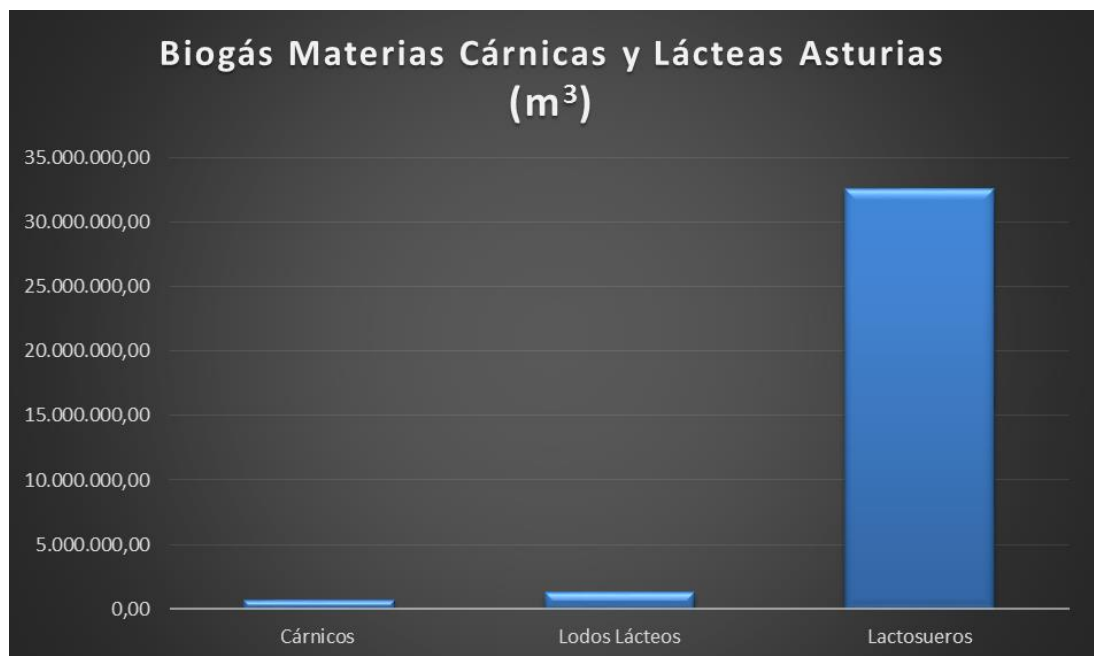


### 5.4.3.2 Asturias

La producción de biogás a partir de subproductos de origen animal de Asturias se puede ver en la siguiente tabla:

**Tabla 39 Producción de Biogás a partir de subproductos animales en Asturias. Fuente: propia.**

Producción de biogás a partir de materias cárnicas y lácteas en Asturias				
	Cárnicos	Lodos Lácteos	Lactosueros	Total materias primas origen animal (m3)
Coeficiente unitario (m3/t), cárnicos y lácticos	48,00	50,00	232,00	34.618.238,00
Producción de biogás total (Incluyendo todas las comarcas)	725.328,00	1.347.950,00	32.544.960,00	



**Ilustración 37 : Gráfico Total Biogás subproductos animales Zonas de Asturias.**



## 5.4.4 Producción de residuos vegetales, de la industria agroalimentaria y de la industria bioenergética.

### 5.4.4.1 España.

**Tabla 40 Producción de biogás a partir de subproductos de origen vegetal en España.**

Fuente: Propia

SUBPRODUCTOS ORIGEN VEGETAL			
ORÍGEN RESIDUO	PRODUCCIÓN (t/año)	PRODUCCIÓN BIOGÁS (m <sup>3</sup> /t o m <sup>3</sup> )	PRODUCCIÓN TOTAL (m <sup>3</sup> )
RESIDUOS VEGETALES			
Retiradas vegetales	931.318	106,00	98.719.708
<b>TOTAL RETIRADAS VEGETALES</b>	<b>931.318</b>	<b>106,00</b>	<b>98.719.708</b>
INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN AGRICOLA Y GANADERA			
Frutas y hortalizas	1.000.000	106,00	106.000.000
Bagazo de cerveza	500.000	92,00	46.000.000
Vinazas	650.000	36,00	23.400.000
Pulpa de remolacha azucarera	280.000	106,00	29.680.000
Melaza de azucarera	220.000	250,00	55.000.000
<b>TOTAL INDUSTRIA TRANSFORMACIÓN</b>	<b>2.650.000</b>	<b>98,14</b>	<b>260.080.000</b>
INDUSTRIA DE BIOCARBURANTES			
Glicerina	20.000	686,00	13.720.000
<b>TOTAL INDUSTRIA BIOCARBURANTES</b>	<b>20.000</b>	<b>686,00</b>	<b>13.720.000</b>
<b>TOTAL SUBPROD. ORIGEN VEGETAL</b>	<b>3.601.318</b>	<b>103,44</b>	<b>372.519.708</b>

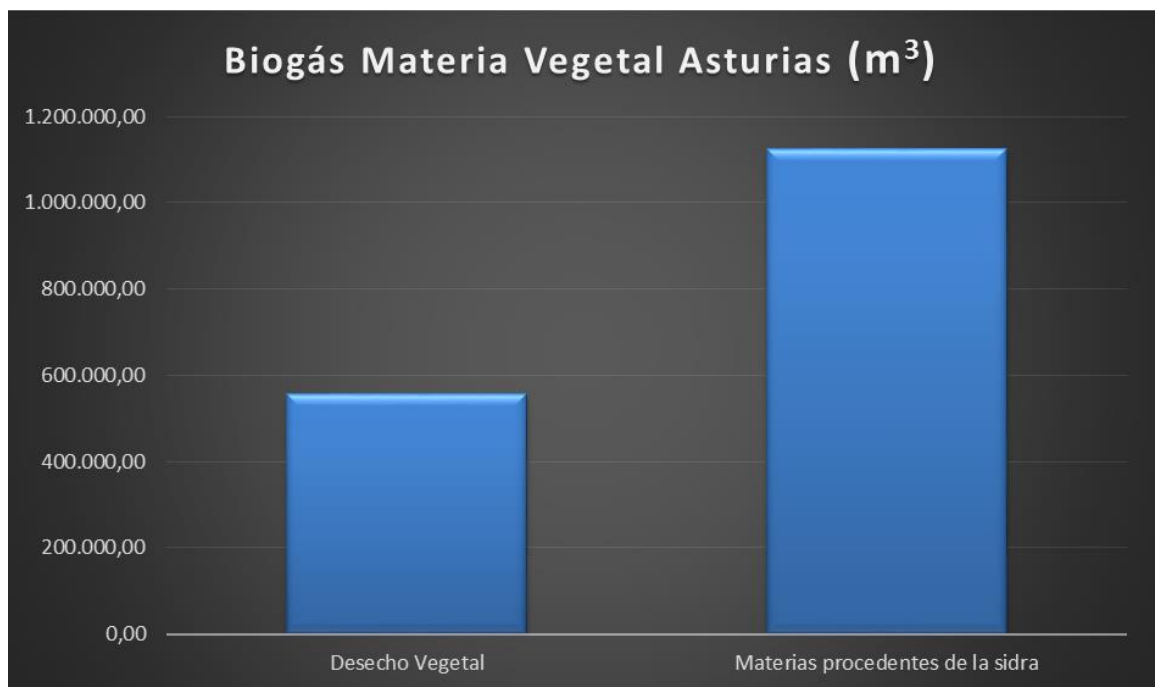


### 5.4.4.2 Asturias

La producción de biogás a partir de subproductos de origen vegetal de Asturias se puede ver en la siguiente tabla:

**Tabla 41 : Producción de biogás a partir de subproductos de origen vegetal. Fuente: propia.**

Producción de biogás a partir de origen vegetal en Asturias			
	Desecho Vegetal	Materias procedentes de la sidra	Total materias origen vegetal (m3)
Coefficiente unitario (m3/t), origen vegetal	106,00	92,00	1.682.084,00
Producción de biogás total (Incluyendo todas las comarcas)	556.924,00	1.125.160,00	



**Ilustración 38 : Gráfico Total Biogás subproductos vegetales Zonas de Asturias.**

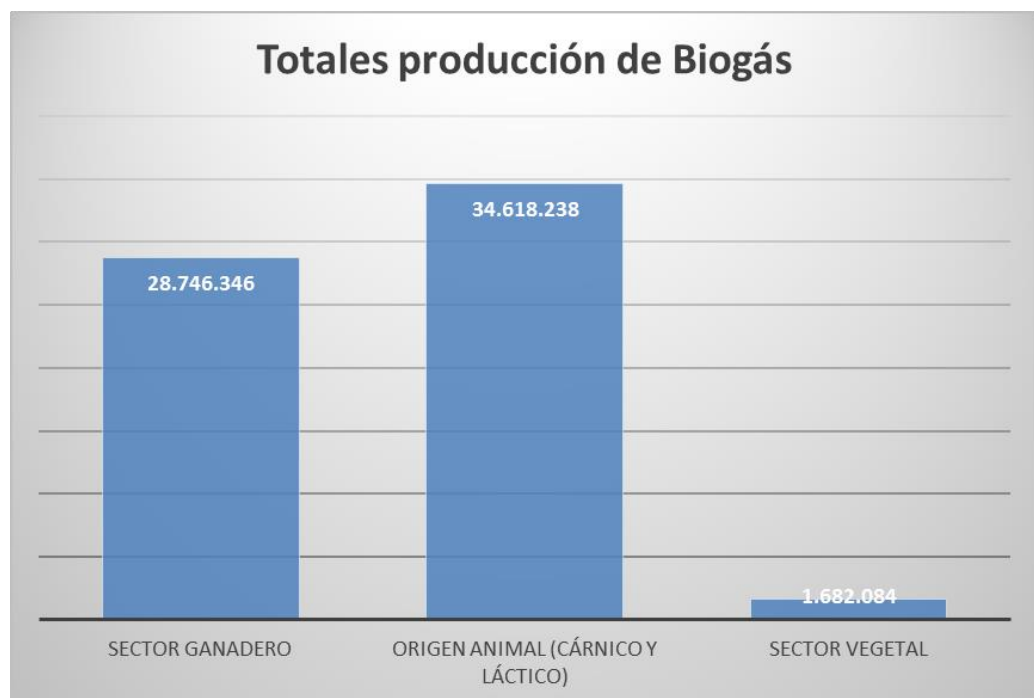


### 5.4.5 Resumen total producción de Biogás en Asturias por distintas metodologías

En siguiente gráfico se mostrará un resumen de todos los cálculos realizados en las tablas anteriormente estudiadas.

**Tabla 42 Datos totales producción de Biogás**

Totales producción de biogás (m3)			
	Sector Ganadero	Origen animal (cárnico y láctico)	Sector Vegetal
Totales	28.746.346	34.618.238	1.682.084



**Ilustración 39 : Gráfico Total Biogás Zonas de Asturias.**

Como conclusión al estudio de la zona de Asturias, podemos ver claramente que los sectores que mayormente se podría explotar sería tanto el de origen animal como el ganadero, puesto que suponen una parte mucho más extensa que los demás sectores en esta zona estudiada.



### 5.4.6 Resumen de producción de subproductos agroindustriales y su potencial productivo en biogás en España

En la tabla 46 se recogen de una forma resumida, la producción de los diferentes tipos de subproductos agroindustriales y su potencial productivo de biogás, que se han recogido en las tablas anteriores. La información se ha agrupado según el tipo de subproducto, su producción y su potencial productivo de biogás:

**Tabla 43 Resumen de sustratos y biogás potencialmente aprovechables en España.**

TIPO DE RESIDUO	PRODUCCIÓN RESIDUOS (t/año)	RESIDUO SOBRE TOTAL (%)	PRODUCCIÓN BIOGÁS (m <sup>3</sup> /año)	BIOGAS SOBRE EL TOTAL (%)	PROD. UNITARI A MEDIA (m <sup>3</sup> /t)
<b>RESIDUOS GANADEROS</b>					
Vacuno	26.513.373	29,24%	829.210.008	32,67%	31,28
Ovino	7.116.787	7,85%	320.255.430	12,62%	45,00
Caprino	791.111	0,87%	37.182.217	1,46%	47,00
Avícola	714.707	0,79%	67.897.175	2,67%	95,00
Porcino	45.960.512	50,69%	497.234.119	19,59%	10,82
<b>SUBTOTAL RESIDUOS GANADEROS</b>	<b>81.096.490</b>	<b>89,45%</b>	<b>1.751.778.949</b>	<b>69,01%</b>	<b>21,60</b>
<b>SUBPRODUCTOS ORIGEN ANIMAL</b>					
Subp. Cárnicos	2.292.359	2,53%	137.498.440	5,42%	59,98
Subp. Lácteos	3.126.852	3,45%	223.261.448	8,80%	71,40
Subp. Pescado	488.508	0,54%	15.869.449	0,63%	32,49
<b>SUBTOTAL SUBP. ORIGEN ANIMAL</b>	<b>5.907.719</b>	<b>6,52%</b>	<b>376.629.337</b>	<b>14,84%</b>	<b>63,75</b>
<b>SUBPRODUCTOS ORIGEN VEGETAL</b>					
Retiradas vegetales	931.318	1,03%	98.719.708	3,89%	106,00
Industria de transformación	2.650.000	2,92%	260.080.000	10,25%	98,14
Industria de biocarburantes	20.000	0,02%	13.720.000	0,54%	686,00
<b>SUBTOTAL SUBP. ORIGEN VEGETAL</b>	<b>3.601.318</b>	<b>3,97%</b>	<b>372.519.708</b>	<b>14,67%</b>	<b>103,44</b>
<b>CULTIVOS ENERGÉTICOS</b>					
Cultivos energéticos	104.731	0,12%	14.012.493	0,55%	133,80
<b>SUBTOTAL CULTIVOS ENERGÉTICOS</b>	<b>57.955</b>	<b>0,06%</b>	<b>37.553.733</b>	<b>1,48%</b>	<b>647,98</b>
<b>TOTAL</b>	<b>90.663.482</b>	<b>100,00%</b>	<b>2.538.481.727</b>	<b>100,00%</b>	<b>28,00</b>



Como se puede observar se el potencial de generación de biogás agroindustrial en España es de aproximadamente 2.538 millones de m<sup>3</sup>/año, para una producción total de subproductos de 90,6 millones t/año.

Los estiércoles y purines representan el 89,45 % de la producción total de subproductos agroindustriales y únicamente alcanzan el 69,01 % de la producción de biogás, existiendo por tanto un diferencial de 10 puntos porcentuales entre ambos parámetros. Ello es debido al escaso potencial de producción de biogás de los mismos, cuyo valor medio es de 21,60 m<sup>3</sup> de biogás/t.

Si analizamos más detenidamente la producción en el caso de los residuos ganaderos se puede ver que el reducido potencial productivo de biogás es más patente en el caso de los purines, que representando el 50,69 % de la producción total de subproductos agroindustriales, alcanzan únicamente el 19,59 % de la producción total de biogás y una producción unitaria media de 10,82 m<sup>3</sup> de biogás/m<sup>3</sup> de purín.

Debido a su gran producción, los estiércoles y purines deberán ser considerados como subproductos fundamentales a la hora de efectuar un programa de producción energética de fuentes renovables, debido al volumen de los mismos y a sus excelentes características para ser metanizados, pero será imprescindible mezclar con otros subproductos de mayor potencial de producción de biogás (codigestión), para incrementar los ingresos por generación de biogás en las instalaciones.

El caso de los subproductos de origen animal es totalmente contrario al de los estiércoles y purines, pues con tan solo 6,52 % de producción tiene una capacidad de generación de biogás de 14,84 % y un valor medio 63,75 m<sup>3</sup> de biogás/t. Por tanto las harinas deben ser consideradas como excelentes subproductos para codigestión cuando procedan de plantas de Categoría 2.

Actualmente la mayor parte de los SANDACH de Categoría 2 se procesan en instalaciones de Categoría 1 para obtener harinas y ello las invalida para ser utilizadas en plantas de biogás. Por tanto, una de las líneas futuras de actuación debería potenciar la construcción de plantas de Categoría 2 para de esta forma poder contar con un co-sustrato de alta calidad para generar biogás.

En el caso de los subproductos de origen vegetal también son buenos componentes para la codigestión por su importante producción de biogás, 103,44 m<sup>3</sup>/t pero con el inconveniente de su baja productividad, con un 3,97 %.





De los subproductos de origen vegetal destacan los subproductos de la industria de biocarburantes por su alta productividad de biogás, 686 m<sup>3</sup>/t, pero actualmente tienen un porcentaje de producción de 0,02 % debido al parón de producción biocarburantes en España. Pero este producto puede adquirir gran importancia en los próximos años debido a las propuestas de producir gran parte de los biocarburantes que se compraban a Argentina con plantas nacionales.

Por último los cultivos energéticos, que actualmente tienen poca presencia en España por la política agraria actual. Es importante tener en cuenta este sector de producción debido a su gran potencial de producción por su alta producción de biogás, en torno a los 647,98 m<sup>3</sup>/t. Sería posible dar un gran empujón al sector del biogás si se fomentara la producción de cultivos energéticos. Esto puede tener consecuencias contraproducentes puesto que un aumento de superficie cultivada para este fin disminuiría la producción de cultivos para alimento humano y animal. Esto se puede controlar con una adecuada gestión y subvenciones en función de los cultivos, manteniendo la producción para consumo animal y humano pero aumentando la producción con nuevas superficies que en este momento se encuentran sin cultivar y con inversiones en estructuras de modernización de regadíos que aumentarán de forma destacable la producción de la superficie actual.

## **6 POTENCIAL ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL DEL BIOGÁS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA.**

### **6.1 Introducción**

Según los cálculos realizados se desprende que en España la producción de subproductos agroindustriales es de 81.096.490 t/año y tienen un potencial productivo de biogás de 1.751.778.949 m<sup>3</sup>/año, que equivale a rendimiento unitario medio de 21,60 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada de subproducto.

Para evaluar el potencial energético se considera que energéticamente dicho biogás tiene un valor medio de 6.000 Kcal/m<sup>3</sup> y que utilizados como combustible en motores de cogeneración generan 2,8 kWh/m<sup>3</sup> de biogás y 2.400 Kcal/m<sup>3</sup> de biogás en forma de agua caliente a 90°C.



## 6.2 Potencia instalada.

Para calcular la potencia instalada en cogeneración que consuma la producción total de 2.514.940.487 m<sup>3</sup> de biogás por año, se considera un periodo de trabajo de 7.500 horas por año y una producción de 2,8 kWh/m<sup>3</sup> de biogás. Con ello resulta que en España la potencia instalada total sería de 939 MW, considerando que todos los subproductos generados en España fueran sometidos al proceso de biodigestión para obtener biogás.

Estimando que un 30% de la producción de subproductos agroindustriales tiene los mejores condicionantes de tipo técnico, de manejo y económicos para ser utilizados en plantas de biogás, se puede concluir que en España, el cupo de potencia instalada para el biogás de digestión podría fijarse en 282 MW.

## 6.3 Autoconsumo térmico de las instalaciones de codigestión.

Al efectuar el balance energético de las instalaciones de biogás de digestión debe tenerse en cuenta que el proceso de metanización se produce a temperaturas mesófila (37°C) o termófila (55°C) y por tanto el propio proceso, ineludiblemente, tiene un autoconsumo en energía térmica para el calentamiento de los sustratos a digerir.

Por tanto, partiendo de los datos de producción de subproductos agroindustriales de 90.710.258 t/año, así como de biogás de 2.514.940.487 m<sup>3</sup>/año, se obtiene un ratio medio de producción de 27,72 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada de subproducto. Teniendo en cuenta que la cogeneración genera 2.400 Kcal/m<sup>3</sup> de biogás, se deduce que la tonelada media de subproducto agroindustrial produce 66.528 Kcal en forma de agua caliente a 90° C.

Por otra parte, para que tenga lugar el proceso de metanización a temperatura mesófila (37° C), deberá calentarse el subproducto agroindustrial desde una temperatura estimada media de 7° C hasta los referidos 37° C y al mismo tiempo deberán reponerse las pérdidas de calor del sistema. Ello significa que para efectuar el salto térmico de 30° C se precisan 30.000 Kcal por tonelada de subproducto agroindustrial, a las que se deberán sumar las necesidades adicionales resultantes de la eficiencia de los intercambiadores de calor y las pérdidas de calor del digestor, que se pueden estimar en 10.000 Kcal/t.



En consecuencia el autoconsumo medio en energía térmica de la biodigestión de subproductos agroindustriales en las condiciones productivas españolas se sitúa en el entorno del 60% del calor efectivo generado.

Este condicionante de autoconsumo térmico de la producción de biogás de digestión deberá tenerse en cuenta a la hora de fijar los requerimientos sobre el Rendimiento Eléctrico Equivalente en la codigestión de subproductos agroindustriales.

## 6.4 Autoconsumo eléctrico de las instalaciones de codigestión.

Contrariamente a lo que sucede con la energía térmica, las necesidades en energía eléctrica del proceso de codigestión son muy reducidas y para las condiciones medias de producción de biogás de los subproductos agroindustriales españoles se puede estimar en el 5% de la producción.

Ahora bien considerando que la producción de biogás en instalaciones de codigestión serán en gran medida de carácter centralizado y por tanto generarán puntualmente grandes volúmenes de codigestos que deberán ser tratados para facilitar gestión posterior. Estos sistemas de tratamiento de co-digestos tendrán unos requerimientos energéticos dependiendo del sistema aplicado y a título de ejemplo se pueden reseñar los siguientes:

**Codigestión anaeróbica + nitrificación-desnitrificación (NDN).**- La codigestión produce de media 27,72 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada de subproducto con un rendimiento 2,8 kWh/m<sup>3</sup> de biogás y por tanto ello equivale a una producción de 77,62 kWh por tonelada de subproducto.

Considerando que el consumo del NDN es de 15 kW/t, resulta un autoconsumo de electricidad del entorno del 22%, que sumado al 5% del proceso de digestión hace un total para este tipo de plantas del 27%.

**Codigestión anaeróbica + "stripping" de NH<sub>3</sub>.**- El consumo eléctrico del stripping de NH<sub>3</sub> + centrifugación es de 5 kWh/t de subproductos. Para las mismas condiciones productivas de biogás reseñadas en el caso del NDN de 77,62 kWh por tonelada de subproducto, resulta un autoconsumo de electricidad del entorno del 7%, que sumado al 5% del proceso de digestión hace un total para este tipo de plantas del 12%.



## 6.5 Reducción de emisiones en el biogás de digestión de productos agroindustriales.

### 6.5.1 Introducción.

La reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la digestión de subproductos agroindustriales proceden de dos fuentes, una por la reducción de emisiones de metano de la digestión de purines y estiércoles y otra debida a las emisiones evitadas de la generación eléctrica de una fuente renovable de energía como el biogás.

El uso de biogás como fuente de energía daría la posibilidad de disminuir de forma importante las emisiones de CO<sub>2</sub> permitiendo un ahorro económico considerable en el mercado de derechos de emisión para el cumplimiento del Protocolo de Kyoto.

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones, en las emisiones del Capítulo de “Gestión de Estiércoles” se diferencia entre las emisiones de metano de los purines que equivalen a 0,1623 t. de CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup> de purín y las emisiones óxido nitroso de los estiércoles que equivalen a 0,073 t de CO<sub>2</sub>-eq/t de estiércol.

La reducción de emisiones por el biogás de digestión de subproductos agroindustriales se calculará únicamente para la estimación de potencia instalada de 282 MW (potencia instalada total de 939 MW), calculada en anteriormente y se obtiene de una capacidad de tratamiento del 30% del total subproductos agroindustriales generados en España.

**Tabla 44 emisiones CO2**

Emisiones por grupo de actividad. Valores absolutos

CATEGORÍAS FUENTE (4)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	kilotoneladas de CO <sub>2</sub> -eq																		
1. Procesado de la energía	212.225,93	219.633,22	228.731,41	219.709,92	229.320,55	240.176,86	227.981,86	246.771,62	253.900,71	276.613,79	288.651,72	291.427,14	309.512,63	313.072,54	330.312,72	345.399,42	335.539,55	345.409,83	317.657,85
2. Procesos industriales	26.114,63	24.681,41	23.101,98	21.871,83	25.533,20	27.047,34	27.428,76	29.426,66	30.273,76	32.666,23	34.234,94	31.410,38	30.751,95	32.132,24	32.272,33	33.702,45	34.422,98	34.375,96	31.342,06
3. Uso de disolventes y otros productos	1.387,85	1.389,57	1.371,44	1.280,62	1.309,25	1.343,58	1.416,40	1.506,65	1.608,91	1.642,04	1.667,08	1.597,23	1.643,44	1.582,83	1.612,99	1.619,52	1.604,11	1.580,05	1.527,15
4. Agricultura	37.743,39	37.691,67	36.886,62	35.312,09	37.402,13	36.565,28	40.665,95	39.720,05	41.587,50	42.575,02	43.999,45	43.257,36	42.176,26	44.463,44	42.863,70	40.568,91	41.298,10	42.347,41	38.955,64
6. Tratamiento y eliminación de residuos	7.651,49	8.156,20	8.688,23	9.164,40	9.559,53	9.833,72	10.258,63	10.854,70	11.370,28	11.824,61	12.244,29	12.807,98	13.305,80	13.349,99	13.385,73	13.821,96	14.416,65	14.963,53	15.565,45
Total categorías	285.123,29	291.552,07	298.779,68	287.338,86	303.124,66	314.966,77	307.751,61	326.279,68	338.741,15	367.321,68	380.797,45	380.500,09	397.390,06	404.601,04	420.447,48	435.112,27	427.281,39	438.676,78	405.048,15



**Emisiones evitadas:**  $282 \text{ MW} \times 7.500 \text{ MWh/año} \times 336 \text{ kg de CO}_2\text{eq/MWh} = 544.320 \text{ t de CO}_2\text{-eq/año}$ .

De acuerdo con la tabla 47 sobre producciones de subproductos, el tratamiento del 30% de ellos supone la biodigestión de 13,79 millones de m<sup>3</sup> de purines y 10,54 millones de toneladas de estiércoles. Por tanto las emisiones reducidas serán:

**Emisiones purines:**  $13,79.106 \text{ m}^3 \times 0,1623 \text{ t de CO}_2\text{-eq/m}^3 \text{ de purín} =$   
 $2.238.117 \text{ t de CO}_2\text{-eq/año}$

**Emisiones Estiércol:**  $10,54.106 \text{ t} \times 0,073 \text{ t de CO}_2\text{-eq/t de estiércol} =$   
 $769.420 \text{ t de CO}_2\text{-eq/año}$ .

En total, la reducción de emisiones del tratamiento del 30% de subproductos agroindustriales representa una cifra de 3.551.857 t de CO<sub>2</sub>-eq/año, que a un precio medio del derecho de emisión de 10 €/t de CO<sub>2</sub>, suponen 35,5 millones de euros anuales que pueden ahorrarse en la compra de derechos de emisión para el cumplimiento del Protocolo de Kyoto.

### 6.5.2 Correlación entre producción eléctrica y reducción de emisiones en la digestión de subproductos agroindustriales.

En la tabla 48 siguiente se recogen la correlación entre el potencial de producción energética de los diferentes subproductos agroindustriales y su incidencia en la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, diferenciando las emisiones evitadas por producción eléctrica de una fuente renovable como el biogás, de la reducción de emisiones de GEI que se producen la digerir anaerómicamente los purines y estiércoles.

Para su cálculo se considera que 1 m<sup>3</sup> de biogás genera 2,8 kWh, que por cada kWh producido por fuentes renovables se evitan 0,336 Kg CO<sub>2</sub>eq. (para nuestro pool de generación eléctrica) y que de acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones se emiten 0,1623 t de CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup> de purín y 0,073 t de CO<sub>2</sub>-eq/t de estiércol.



**Tabla 45 Correlación entre electricidad y emisiones de GEI. Fuente: MARM**

	Producción		Emisiones de GEI (Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> o Tm)		
	BIOGAS (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> o Tm)	ELECTRICIDAD (Kwh/m <sup>3</sup> o Tm)	EVITADAS	GESTIÓN ESTIÉRCOLES	TOTAL EMISIONES
PURINES	10,82	30,30	10,18	162,30	172,48
ESTIÉRCOL Y GALLINAZA	36,46	102,09	34,30	73,00	107,30
SANDACH	201,69	564,73	189,75	0,00	189,75
RESIDUOS AGROINDUSTRIALES	76,56	214,37	72,03	0,00	72,03
HARINAS	469	1.313,20	441,24	0,00	441,24
GLICERINA	686	1.921	645	0,00	645

De estos resultados se desprende que los purines son los subproductos que generan menos cantidad de biogás y por tanto menor producción de electricidad, pero sin embargo son los que reducirían más emisiones de GEI.

En consecuencia si los purines y en menor proporción los estiércoles, gallinazas, son sometidos a un proceso de biodigestión anaeróbica, reducirían la factura de la compra de derechos de emisión para el cumplimiento del Protocolo de Kyoto y este ahorro podría ser utilizado complementariamente con la tarifa eléctrica para rentabilizar las instalaciones de biogás.

Aunque de las harinas SANDACH y la glicerina resulta muy eficiente en la producción de electricidad y por tanto en reducción de emisiones evitadas, es una situación teórica ya que debido a las características intrínsecas de estos subproductos, únicamente se pueden digerir mezclados en pequeñas proporciones con otros compuestos orgánicos. En general se considera que no debe sobrepasarse el 10% en el caso de las harinas cárnicas.

## **7 POSIBLE PLANTA DE BIOGÁS EN ASTURIAS. ESTUDIO DE VIABILIDAD.**

### **7.1 Introducción.**

En España actualmente existen pocas plantas de biogás y debido a la supresión de las primas a la energías de régimen especial por el Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de



cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos; no existen buenas expectativas para estas energías en un futuro cercano.

Aun así, actualmente las plantas de biogás que utilicen como sustrato principal purines, pueden acogerse a una subvención declarada por el Real Decreto 949/2009, de 5 de junio,(descrito en el siguiente apartado) por el que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines; haciendo más rentables este tipo de instalaciones.

## 7.2 Normas de aplicación básicas.

Se procede a continuación a realizar un somero análisis de la normativa que afecta directamente al sector de aprovechamiento del biogás en Asturias, con particular interés en lo que respecta a la retribución y posibilidades económicas (subvenciones, etc.).

### 7.2.1 Real Decreto 661/2007, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial→ suspendida.

El RD 661/2007 constituye la norma básica para todas las instalaciones de generación eléctrica incluidas dentro del Régimen Especial. La norma marca el procedimiento administrativo para la inclusión en el registro, y, sobre todo, resulta de gran trascendencia porque determina el régimen retributivo de las instalaciones del RE. En concreto, las instalaciones de generación eléctrica a partir del biogás se incluyen bajo los siguientes epígrafes, dentro del citado Real Decreto106.

**Categoría a): productores que utilicen la cogeneración u otras formas de producción de electricidad a partir de energías residuales.**

· Grupo a.1. Instalaciones que incluyan una central de cogeneración siempre que supongan un alto rendimiento energético y satisfagan los requisitos que se determinan en el anexo I.

-Subgrupo a.1.3. Cogeneraciones que utilicen como combustible principal biomasa y/o biogás, en los términos que figuran en el anexo II, y siempre que ésta suponga al menos el 90 por ciento de la energía primaria utilizada, medida por el poder calorífico inferior.

**Categoría b): instalaciones que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles, biomasa, o cualquier tipo de biocarburante, siempre y cuando su titular no realice actividades de producción en el régimen ordinario.**



· Grupo b.7. Centrales que utilicen como combustible principal biomasa procedente de estiércoles, biocombustibles o biogás procedente de la digestión anaerobia de residuos agrícolas y ganaderos, de residuos biodegradables de instalaciones industriales o de lodos de depuración de aguas residuales, así como el recuperado en los vertederos controlados, en los términos que figuran en el anexo II.

-Subgrupo b.7.1. Instalaciones que empleen como combustible principal el biogás de vertederos.

-Subgrupo b.7.2. Instalaciones que empleen como combustible principal el biogás generado en digestores empleando alguno de los siguientes residuos: residuos biodegradables industriales, lodos de depuradora de aguas urbanas o industriales, residuos sólidos urbanos, residuos ganaderos, agrícolas y otros para los cuales se aplique el proceso de digestión anaerobia, tanto individualmente como en codigestión.

-Subgrupo b.7.3. Instalaciones que empleen como combustible principal estiércoles mediante combustión y biocombustibles líquidos.

Es decir, en el grupo a.1.3 se encuentran las instalaciones de cogeneración a partir de biogás, en el b.7.1, los vertederos, y en el b.7.2 se incluyen las EDARs y digestores anaerobios en general.

Desde el punto de vista retributivo se caracteriza por la posibilidad de que el precio de la energía se complemente mediante una prima que podrá compensar al productor por su contribución a la mejora del medio ambiente y al incremento de eficiencia energética.

A continuación se muestra las primas establecidas para la producción de energía en régimen especial a partir de biodigestores anaerobios.

**Tabla 46: tabla de primas establecidas para la producción de biogás a partir de digestores anaerobios.**

Subgrupo	Potencia	Período	Tarifa regulada [c€/kWh]	Prima referencia [c€/kWh]	Límite superior [c€/kWh]	Límite inferior [c€/kWh]	Valor medio [c€/kWh]
a.1.3	P ≤ 500 kW	0 - 15 años	13,3474	10,0842	15,8241	12,7474	14,2858
		> 15 años	6,6487				
	P > 500 kW	0 - 15 años	9,9598	6,1009	11,6478	10,0848	10,8663
		> 15 años	6,6981				
b.7.2	P ≤ 500 kW	0 - 15 años	13,0690	9,7696	15,3300	12,3500	13,8400
		> 15 años	6,5100				
	P > 500 kW	0 - 15 años	9,6800	5,7774	11,0300	9,5500	10,2900
		> 15 años	6,5100				

Por parte del sector promocional se establecen quejas en relación con la retribución establecida por el Real Decreto.





## 7.2.2 Real Decreto 949/2009. Bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines.

Este Real Decreto 108 regula las subvenciones mencionadas en el Plan de Biodigestión de Purines, anteriormente mencionado, para cumplir los siguientes objetivos:

*a) Fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines, que permitan la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Tratamiento del nitrógeno de los purines en las zonas vulnerables o con alta concentración ganadera con el fin de reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la gestión de Estiércol.*

*b) Aplicar tecnologías complementarias a la biodigestión anaeróbica, que permitan mejorar la gestión del nitrógeno del digestato mediante procesos como por ejemplo la separación sólido-líquido, eliminación o reducción-recuperación de nitrógeno tanto para las zonas vulnerables declaradas de acuerdo con el Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura, como para las de alta concentración ganadera donde se superan una carga de ganado intensivo, que produce purín, de 1,2 Unidad de Ganado Mayor (UGM) por hectárea de superficie agraria de herbáceos.*

*c) Potenciar, con una mayor subvención, la valorización agrícola del digestato, directamente, y el reciclado de nutrientes frente a los postratamientos del digestato como separación sólido-líquido, eliminación o reducción-recuperación de nitrógeno, aplicando los procesos de eliminación o reducción-recuperación de nitrógeno del digestato solamente a la fracción líquida del mismo.*

*d) Para maximizar el tratamiento de purines, en las plantas de codigestión, donde se sobrepase el 20% de otro cosustrato distinto de los estiércoles en la mezcla a digerir con el purín, se reducirá proporcionalmente esa subvención a medida que se sobrepasa dicho límite.*

*Las subvenciones van encaminadas a la ayuda económica para facilitar la instalación de sistemas de aprovechamiento del biogás, diferenciando entre dos tipos de instalaciones:*

- Instalaciones individuales con digestores rurales sobre balsas de explotaciones ganaderas intensivas
- Instalaciones individuales y centralizadas con codigestores industriales.

En la norma se indican los requisitos de los productores para poder optar a la ayuda, así como las obligaciones de estos en caso de obtenerla.

### 7.3 Desarrollo de nuevas plantas.

La hoja de ruta de un proyecto de planta de biogás viene a quedar reflejada en la siguiente figura:

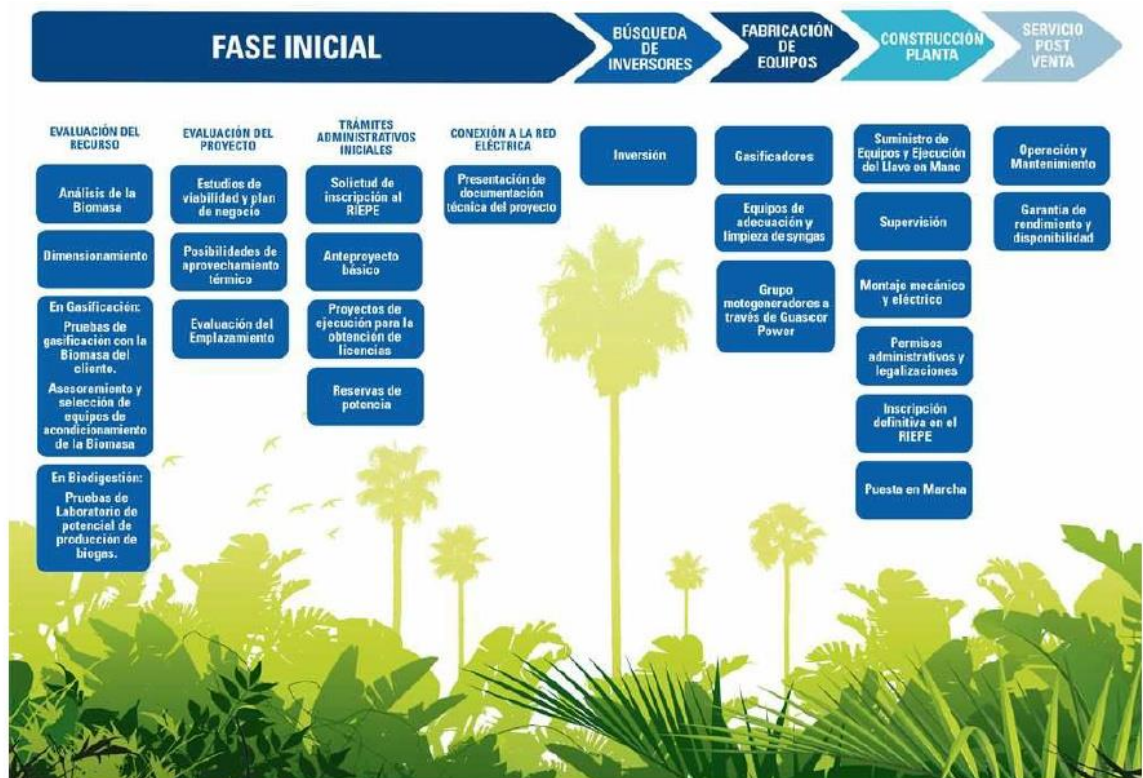


Ilustración 40 Hoja de ruta para el desarrollo de una planta de biogás.

Para asegurar el éxito en la operación de una planta y consiguientemente una mínima rentabilidad económica es vital contemplar los siguientes aspectos:

- Marco legal, tramitación y permisos.
- La disponibilidad y seguridad de los sustratos.
- La tecnología y diseño de ingeniería.
- La rentabilidad y modelo de negocio.



## 7.4 Volatilidad de sustratos: Disponibilidad y coste de sustrato. (Residuo, subproducto).

Si no hay seguridad en el suministro del sustrato con que producir combustible, no hay viabilidad de una planta que produce energía a partir de biogás. El aseguramiento de su suministro es vital para la viabilidad del negocio. En plantas alemanas dada la gran cantidad de plantas se ha producido un desabastecimiento de las mismas produciendo un decaimiento del negocio, por lo tanto es vital asegurar el ajuste de plantas a la disponibilidad de residuos.

Esta viabilidad, tanto en el caso del modelo centralizado como individual, se ha de conseguir a través de contratos con los suministradores de residuos que aseguren el suministro a la planta durante un periodo de tiempo.

En el caso de diseñar un proceso en codigestión, la disponibilidad es más compleja, pues se necesita disponer de más de una materia prima, pero a la vez más flexible pues pueden ser más variadas las posibilidades de cosustratos a incluir en la mezcla. La eficiencia en la producción de biogás se ve reducida en el momento en que se emplean procesos con digestiones monosustratos.

Consiguientemente, una reducción en la incertidumbre en el suministro del residuo supone una reducción del riesgo del negocio, y consiguientemente, una mayor robustez y viabilidad a largo plazo del mismo. Por otro lado, habría que considerar, además, el posible coste del cosustrato y coste de transporte a la planta.

## 7.5 Modelos de negocio.

Una vez asegurado el marco legal y tecnológico, son la disponibilidad del sustrato y la rentabilidad y modelo de negocio que aseguran la fiabilidad de los ingresos los factores clave que determinan la viabilidad de una planta.

Hay que considerar dos modelos básicos de gestión que es acorde con el criterio del *RD949/2009, de 5 de junio por el que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines*, aunque es aplicable a cualquier tipo de sustrato e instalación:



- El **modelo de tratamiento centralizado**: Es la construcción de un planta que utiliza digestores, que trata conjuntamente sustratos procedentes de diferentes instalaciones, almacena el biogás y lo valoriza energéticamente. Puede ser gestionada por una entidad pública o privada.
- El **modelo de gestión individual** que atiende al tratamiento del residuo en el lugar de producción. Es la planta que utiliza digestores, que trata purín de una sola instalación sólo o con otros sustratos, almacena biogás y lo valoriza energéticamente. Podrá ser gestionado por entidad pública o privada.

Se desarrolla el modelo de tratamiento centralizado, pues es el que se propone usar para la propuesta de planta de biogás en el Principado de Asturias.

#### **Modelo de tratamiento centralizado:**

Presenta más riesgos en el suministro de sustrato pero admite mejor la logística de transportar otros residuos para realizar codigestión e incrementar la eficiencia del proceso y consiguientemente la producción de metano. Según Flotats (2008) la rentabilidad requiere producciones mínimas de biogás de 30-35 m<sup>3</sup>/t.

En el modelo de negocio centralizado habría que hacer una valoración del balance energético en el transporte de los residuos a la planta. De esta manera se realiza a continuación una modelización simple del transporte de un residuo a la planta centralizada para valorar si es eficiente energéticamente y a que distancia máxima, para una eficiencia energética del 95 % se pueden transportar los residuos a una planta centralizada:

- Transporte de purín en cisternas de 38000 l de capacidad.
- El purín con un volumen de sólidos volátiles de 35,18 g/kg purín fresco. El peso específico de purín de vacuno es de 1,02 kg/l. Con lo que una cisterna transporta 1.363,6 kg de Sólidos volátiles (SV).
- La producción de metano por kg de SV, varía entre 0,17 y 0,45 m<sup>3</sup>/kg SV. Tomando el valor más desfavorable se obtienen 231.812 m<sup>3</sup> de metano en cada cisterna transportada. Lo que transformado en energía (densidad metano: 0,67 kg/m<sup>3</sup> y 13.187 kcal/kg) supone 2.048.126 Kcal (2382 kWh, 2048 Tep)- por camión transportado.
- El consumo de combustible del vehículo que transporta el purín es de 32l/100 km de gasoil (base de datos IDAE) 112 lo que supone un consumo (10,1 kWh/l gasóleo) de 232,2 kWh/100 km.



· Si calculamos la energía transportada (2382 kWh) entre la energía consumida por la cisterna de transporte (2,32 kWh/km) se observa que el transporte es energéticamente eficiente (a una eficiencia del 95 %) si el sustrato se encuentra a menos de 50 kms de la planta de biogás, siendo la eficiencia 0 a más de 1025 kms.

Consiguientemente con la hipótesis planteada es viable energéticamente llevar purín a una planta centralizada.

· Este modelo centralizado tiene como ventajas:

- Permite el control de operación especializado mejorando la eficiencia.
- Permite la implantación de un centro de gestión integrada de residuos orgánicos.

· Como desventajas:

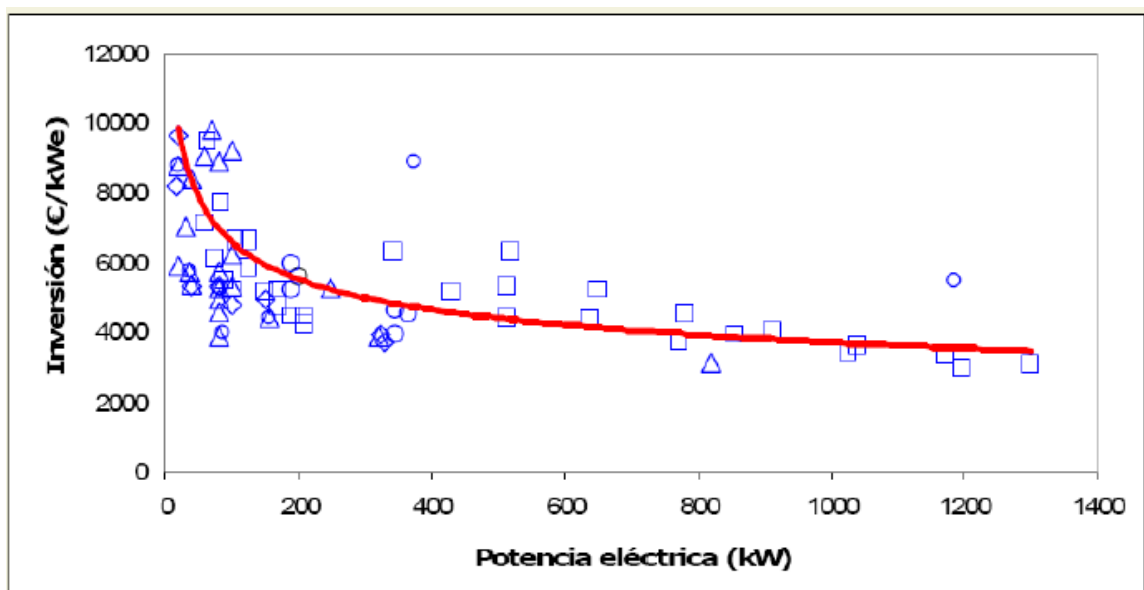
- Una alta inversión inicial.
- Hay que realizar el transporte de residuos, con un coste económico adicional.
- No permite el aprovechamiento térmico fuera de la planta de biogás si se encuentra alejada de potenciales consumidores de calor.
- La explotación de la planta necesita personal específico para su explotación.
- Son menos flexibles, las ampliaciones de las instalaciones centralizadas suelen ser costosas y requieren de un incremento considerable de residuos que conlleva un incremento del transporte de posiciones más alejadas.
- A mayor tamaño de la instalación, mayor coste del transporte pues los residuos estarán más lejos.
- Son plantas de gran complejidad.

## 7.6 Rentabilidad.

Se analiza a continuación los parámetros básicos que se emplean en el análisis económico de plantas de biogás. Dada la gran variedad de factores que inciden en la rentabilidad de este tipo de plantas es muy difícil valorar, de una manera general, la rentabilidad de las mismas. Es por ello que se ha preferido dar criterios generales empleados en este tipo de estudios para finalmente analizar el estudio de una planta tipo.

### 7.6.1 Costes de inversión.

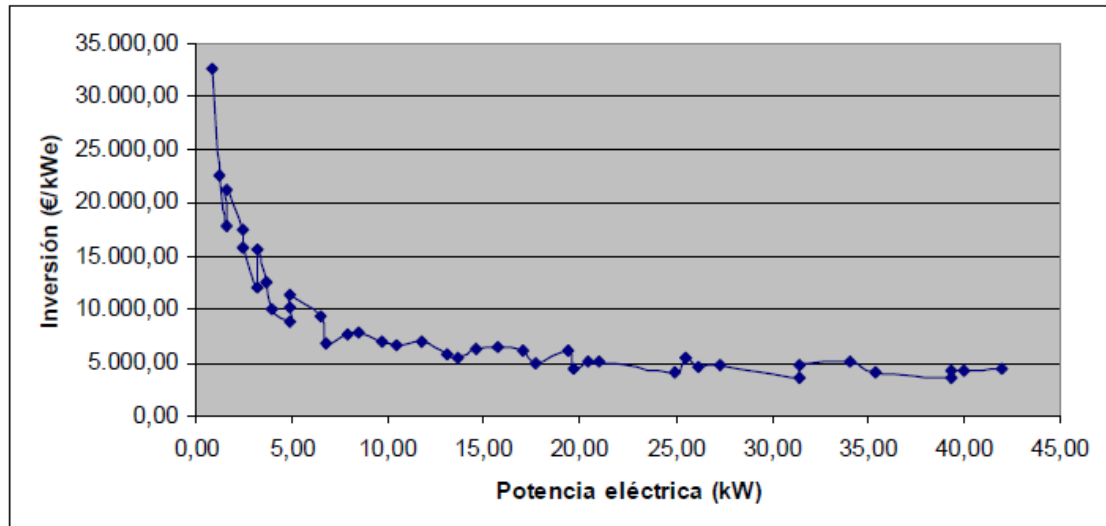
El cálculo de los costes de inversión es muy variable para las distintas ubicaciones y tamaños de plantas. La inversión en las planta de biogás depende del tamaño de la instalación y del caudal de tratamiento, y muestra una marcada economía de escala. En la figura siguiente se observa la inversión unitaria en función de la potencia eléctrica de la instalación a partir de plantas instaladas en Dinamarca, Alemania, Austria y Cataluña o en anteproyectos en Cataluña.



**Ilustración 41 Relación entre la inversión unitaria por unidad de potencia eléctrica.**

Se observa una gran dispersión debida a la adaptación de cada inversión a las necesidades específicas de cada planta, de los suministradores, el diseño con cosustratos, etc. Se deduce del gráfico que a partir de unos 300 kW el coste por kW se estabiliza entre 5000 y 4000 euros el kW.

Otra referencia de coste viene a ser de entre 400-600 euros/m<sup>3</sup> de digestor.114.Con otro tipo de tecnologías para plantas más pequeñas, para instalaciones ganaderas con biodigestores de geomembrana con potencias inferiores a 50kW con sistemas tipo pistón horizontal el coste viene representado por la siguiente gráfica:



**Ilustración 42 Relación entre la inversión unitaria por unidad de potencia eléctrica para plantas de pequeña potencia**

Para plantas pequeñas, los costes de inversión por kW son elevados esencialmente debidos a los costes de los motores de generación, de hecho el RD 949/2009 recomienda, para instalaciones porcinas pequeñas, la combustión directa en antorchas (artículo 2k). A partir de 15 kW el coste de la inversión por kW se asemeja al de plantas convencionales de más de 200 kW de potencia indicada en el gráfico de Flotats, la diferencia es el número de kW. Este tipo de sistema requiere unos costes de inversión menores en relación a los sistemas convencionales que se suelen instalar y que quedan representados en la gráfica de Flotats anterior.

Una comparativa de las plantas centralizadas versus plantas individuales para una producción equivalente de energía eléctrica en relación a la inversión se realiza en el siguiente cuadro tomando como referencia los costes de inversión de los gráficos anteriores:

**Tabla 47 Ejemplo de relación entre la inversión en plantas individuales frente a plantas centralizadas.**

	Inversión	
	Planta 40 kW	Planta de 400 kW
inversión 1 planta (€)	172.141,60	1.900.000,00
inversión equivalente para producir la misma electricidad (€)	1.721.416,00	1.900.000,00

### 7.6.2 Ingresos de explotación (volatilidad de ingresos).



**Ilustración 43 Modelo de negocio en cogeneración con gas natural**

Los ingresos potenciales en una planta de este tipo pueden venir de cuatro fuentes:

- Producción de electricidad.
- Producción de compost.
- Producción de calor.
- Canon de tratamiento de los residuos.

### 7.6.3 Gastos de explotación.

Como gastos se incluyen las amortizaciones, el personal, los gastos de consumibles, repuestos y mantenimiento y otros gastos de explotación (seguros, gastos financieros,...).Las amortizaciones se realizan a 10-12 años.

Se estiman los costes de funcionamiento de los motores de generación de 1 c€/kWh producido anualmente. Y un 1,5 % anual de la inversión en concepto de reparaciones mantenimiento, administración y seguros.





Además de los costes de explotación normales de la planta existen otros tres costes que no son menospreciables y que no se tienen en cuenta en los estudios: por un lado el coste de tratamiento de gases para poder ser empleado como combustible de los motores eléctricos (pueden suponer 1,5 c€/kWh<sup>119</sup>) y el coste de depuración de las aguas residuales una vez separada la fracción sólida que se va a compostar, y el coste de preparación del compost.

Para los estudios económicos se suelen tomar las siguientes hipótesis:

- No se suelen considerar los gastos de compra de residuos, como ya se ha comentado anteriormente algunos residuos pueden suponer un coste al tener un valor de mercado.

#### 7.6.4 Rentabilidad económica.

Los principales parámetros económicos (VAN, TIR, Ingresos, gastos) se evalúan conjuntamente en el concepto denominado rentabilidad económica ya que están relacionados.

Para el cálculo de la rentabilidad económica se realizan los balances económicos de cada una de las alternativas y se calcula la rentabilidad del Proyecto.

Las bases de cálculo habituales suelen ser:

- No se considera en las hipótesis de cálculo ninguna subvención ni ayuda para las infraestructuras, financiándose con fondos propios a través de un préstamo.
- La vida útil de estas instalaciones se considera de 15 años y con un valor residual nulo.

#### 7.7 Planta tipo en Asturias.

Para una planta de 500 kW:

Para que nuestros datos sean favorables, debemos partir de dos premisas básicas, que la zona elegida este por encima de las **11.000 t/año** de purines vacunos y una producción total por encima de **50.000 t/año** en la comarca, incluyendo todas las materias primas (cosustratos).

Se ha supuesto una producción diaria ininterrumpida a lo largo del año con una ratio de biogás dentro de la horquilla de datos bibliográficos.

Por su parte los rendimientos tanto motor como térmico se han estimado en valores medios de dentro de su intervalo de acción, el rendimiento del motor puede estar entorno al 45-55% y el térmico algo menor 40-50% por lo que se han tomado valores medios para el estudio económico.

A continuación, se mostrarán una serie de tablas donde se podrá ver la rentabilidad de esta serie de plantas y evaluar si un proyecto de este tipo puede resultar viable.



Primeramente, se mostrará una tabla en la que se verán unos datos de partida, donde vemos que necesitaremos unas 11.000 t anuales de materia prima para alimentar a nuestros sistemas, podríamos instalar este tipo de central energética, en la zona vista en apartados anteriores de Oviedo:

**Tabla 48 Datos de partida**

DATOS DE PARTIDA		
Materia prima necesaria	11.000	t/año
Horas de trabajo anual	8.760	h
Ratio Biogás / restos agroindustriales	175	m <sup>3</sup> /t
Rendimiento Motor	55	%
Rendimiento Termico	45	%

PRECIOS	VALOR	UNIDAD
Precios restos	12	€/t
Precio calor	0,37	€/kWh
Precio transporte mat prima	4	€/t
Precio electricidad	0,14	€/kWh

Seguidamente podremos observar una serie de tablas donde veremos el coste de los equipos y otros costes asociados a nuestra planta tipo, estos datos, cabe destacar que son estimativos, no olvidemos que estamos tratando una planta tipo.

**Tabla 49 Costes asociados a planta tipo**

EQUIPOS NECESARIOS PARA LA OBTENCION DE BIOGÁS EN LA PLANTA	COSTE (€)
Área de recepcion e higienización del material	2.000.000
Digestor	
Equipo para el tratamiento del Gas	
Equipo para el aprovechamiento del calor	
Sistema de almacenamiento del gas	
Sistema de valvulometría	
Otros elementos y puesta en marcha	

CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE BIOGÁS GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS  
AGROINDUSTRIALES EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS



COSTES DE INVERSIÓN	CANTIDAD (€)	GASTOS FIJOS (€)
Materia prima	132.000	132.000
Transporte materia prima	44.000	44.000
Explotación	120.000	120.000
Costes de equipos e instalacion	2.000.000	
Obra Civil	665.000	
Costes anuales totales	2.961.000	296.000

A partir de este punto, se podrá ver la estimación de los gastos, ingresos, flujos de caja, así como finalmente, el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Cabe destacar que el proyecto se ha evaluado para una vida útil de equipos de 12 años.

**Tabla 50 Gastos, Ingresos, Flujos de caja**

Año	Gastos Fijos (€)	Gastos inicial (€)	Gastos totales (€)
1	296.000	2.665.000	2.961.000
2	296.000		296.000
3	296.000		296.000
4	296.000		296.000
5	296.000		296.000
6	296.000		296.000
7	296.000		296.000
8	296.000		296.000
9	296.000		296.000
10	296.000		296.000
11	296.000		296.000
12	296.000		296.000

Estimación energía eléctrica		Estimación térmica	
10.694.444 kWh/año		4.812.500,0 kWh/año	
Rendimiento electrico/térmico			
0,52			
Energía eléctricos			
5.561.111 kWh/año			
Precio kW electrico / calor			
0,14 €/kWh		0,037 €/kWh	



Beneficio total	
Eléctrico (€)	Térmico (€)
778.556	178.063
<b>TOTAL</b>	956.618

AÑO	GASTOS (€)	INGRESOS (€)	FLUJO DE CAJA (€)	FLUJOS DE CAJA TOTALES (€)
0	-2.961.000	0	0	-2.961.000
1	296.000	956.618	660.618	-2.300.382
2	296.000	956.618	660.618	-1.639.764
3	296.000	956.618	660.618	-979.146
4	296.000	956.618	660.618	-318.528
5	296.000	956.618	660.618	342.090
6	296.000	956.618	660.618	1.002.708
7	296.000	956.618	660.618	1.663.326
8	296.000	956.618	660.618	2.323.944
9	296.000	956.618	660.618	2.984.562
10	296.000	956.618	660.618	3.645.181
11	296.000	956.618	660.618	4.305.799
12	296.000	956.618	660.618	4.966.417

Vistos los aspectos de gastos, ingresos y flujos de caja vemos que la inversión inicial se recupera en el quinto año.

Ahora se procederá a evaluar el VAN y el TIR, en el caso del VAN se evaluará para distintas actualizaciones:

**Tabla 51 Gastos, Ingresos, Flujos de caja**

VAN (Valor Actual Neto)	DISTINTAS ACTUALIZACIONES
2.894.224	5%
2.286.082	7%
1.131.115	12%
619.958	15%
-28.374	20%

TIR (Tasa Interna de Retorno)	19,74%
-------------------------------	--------



## 8 Conclusiones

Como final a este estudio se han realizado una serie de conclusiones que se muestran a continuación:

- La digestión anaerobia es una energía renovable y limpia con reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- El digerido obtenido puede ser utilizado como biofertilizante con un tratamiento adecuado.
- Para que el proyecto sea viable hay que definir correctamente todos los parámetros involucrados en la digestión anaerobia.
- El rendimiento del motor eléctrico y el rendimiento térmico son fundamentales para la rentabilidad del proyecto.
- Cuanto mayor sea la potencia instalada más rentable será el proyecto.
- El porcentaje de metano contenido en el biogás influye directamente en la eficiencia del motor de combustión interna y por lo tanto en la generación de energía eléctrica.
- La tecnología del biogás y la construcción de plantas de biogás es totalmente factible en nuestro país, con la masificación de este tipo de tecnología se puede obtener beneficios económicos y ambientales que favorecen al común de la sociedad, con la creación de fuentes de empleo y reducción de la contaminación respectivamente, para lograr esta masificación se debería crear leyes que incentiven a optar por este tipo de tecnología.
- El biogás es un combustible alternativo renovable cuya fuente de producción es inagotable, lo cual lo convierte en un biocombustible altamente viable en la aplicación de motores de combustión interna para diversos fines.
- El biogás como combustible eficaz para su masificación necesita purificación para llegar a contenidos de metano de por lo menos un 90%, lo que nos permite tener un poder calorífico mayor y como consecuencia un 40% mejor rendimiento de los equipos en los que se suministra biogás como combustible.



## 9 Bibliografía

- Guía para la recogida, separación y gestión de la fracción orgánica. M.Soliva. 2011.
- Tratamiento y gestión de residuos sólidos. Francisco José Colomer Mendoza. Universidad Politécnica de Valencia.2010
- Huerta et al, 2010b. Guía para la recogida separada y gestión de la fracción orgánica.
- [www.probiogas.es](http://www.probiogas.es)
- [www.ministeriodemedioambiente.es](http://www.ministeriodemedioambiente.es)
- [www.sandach.com.es](http://www.sandach.com.es)
- [www.recompostaje.com](http://www.recompostaje.com)
- [www.ciemat.es](http://www.ciemat.es)
- <https://sede.asturias.es>
- [www.tekniskaverken.se](http://www.tekniskaverken.se)
- [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/index\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/index_es.htm)
- [www.magrama.gob.es](http://www.magrama.gob.es)
- <http://eur-lex.europa.eu/>
- <http://www.idae.es/>
- <http://www.ine.es/>
- <http://biogafuelcell.com/>
- <http://biogafuelcell.com/portfolio/referencias-tineo/>
- <http://www.agrogas.eu/>
- <http://ec.europa.eu/>
- <http://www.aebig.org/>
- <http://www.energias-renovables.com/biogas>
- <http://www.inderen.es/biogas.htm>
- <http://www.faen.es/>
- <https://www.asturiasenergia.es/>
- <https://cei.uniovi.es/energia>
- <http://www.ainer.es/>
- <http://www.investinasturias.es/es/energia/>
- <http://www.grupotsk.com/>
- <http://www.eco-gmbh.eu/es/temas/biogas.html>
- <http://european-biogas.eu/>
- <http://biovec.net/>