

e. n. adaro

ASPECTOS ECONOMICOS DEL APROVECHAMIENTO ENERGE-
TICO DE LA BIOMASA RESIDUAL .

VOLUMEN I: Actualización de inventarios y valora-
ción energética

P.E.N. - C.E.E.

Abril, 1983

empresa nacional adaro de
investigaciones mineras, s.a.
enadimsa

50419

TITULO	ASPECTOS ECONOMICOS DEL APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LA BIOMASA RESIDUAL . TOMO I: Actualización de inventarios y valoración energética
CLIENTE	P.E.N. - C.E.E.
FECHA	Abril, 1983

Referencia: P6/19/025

Departamento: PROYECTOS DE PLANTAS INDUSTRIALES Y
RESIDUOS SOLIDOS

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
0.- INTRODUCCION	1
1.- LA BIOMASA RESIDUAL. DEFINICIONES Y CRITERIOS BASICOS DE EVALUACION	4
2.- OBJETIVO DEL ESTUDIO	10
3.- CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS A CONSIDERAR	12
3.1.- CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS FORESTALES	13
3.2.- CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS..	14
3.3.- CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS AGRICOLAS	15
3.4.- CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS GANADEROS Y DE DEPURACION DE AGUAS URBANAS	15
4.- PROCESOS DE CONVERSION ENERGETICA DE BIOMASA	17
4.1.- CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LA BIOMASA	18
4.2.- DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE CONVERSION ENERGETICA	19
4.2.1.- Sistemas de conversi3n para el aprovechamiento de residuos forestales	20
4.2.2.- Sistemas de conversi3n para el aprovechamiento de Residuos S3lidos Urbanos	23
4.2.3.- Sistemas de conversi3n para el aprovechamiento de Residuos Agr3colas	26
4.2.4.- Sistemas de conversi3n para el aprovechamiento de Residuos Ganaderos y de depuraci3n de aguas urbanas	29
4.3.- CONSIDERACIONES PREVIAS PARA LA ELECCION DEL METODO DE CONVERSION	33
4.4.- PLAN DE VALORACION DE LA BIOMASA RESIDUAL EN ESPAÑA	34
4.5.- ESTADO DE LAS TECNOLOGIAS DISPONIBLES PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE BIOMASA	36
5.- METODOLOGIA EMPLEADA EN LA VALORACION ENERGETICA DE BIOMASA	37
5.1.- RESIDUOS FORESTALES	38
5.2.- RESIDUOS SOLIDOS URBANOS	40
5.3.- RESIDUOS AGRICOLAS	43
5.4.- RESIDUOS GANADEROS Y LODOS DE DEPURADORA	44
6.- CUANTIFICACION DE LA GENERACION DE RESIDUOS EN ESPAÑA	45

6.1.- GENERACION DE RESIDUOS FORESTALES	46
6.2.- GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS	50
6.2.- GENERACION DE RESIDUOS AGRICOLAS	56
6.3.- GENERACION DE RESIDUOS GANADEROS Y DE DEPURACION DE AGUAS URBANAS	65
7.- EVALUACION ENERGETICA DE LA BIOMASA RESIDUAL EN ESPAÑA Y SU REPERCUSION SOBRE LA ENERGIA CONSUMIDA	76
7.1.- EVALUACION ENERGETICA DE RESIDUOS FORESTALES	79
7.2.- EVALUACION ENERGETICA DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS ..	81
7.3.- EVALUACION ENERGETICA DE RESIDUOS AGRICOLAS	84
7.3.1.- Evaluación energética del residuo de cultivos leñosos y frutales en España	84
7.3.2.- Evaluación energética del residuo de los cultivos de cereales de grano en España	86
7.3.3.- Evaluación energética del residuo de cultivos industriales agrícolas	88
7.4.- EVALUACION ENERGETICA DE RESIDUOS GANADEROS Y DE DEPURACION DE AGUAS URBANAS	90
7.4.1.- Residuos ganaderos de animal vivo	90
7.4.1.1.- Evaluación energética del residuo de ganado bovino	91
7.4.1.2.- Evaluación energética del residuo de ganado equino	91
7.4.1.3.- Evaluación energética del residuo de ganado caprino y ovino	92
7.4.1.4.- Evaluación energética del residuo de ganado porcino	93
7.4.1.5.- Evaluación energética del residuo de ganado aviar	94
7.4.1.6.- Evaluación energética del residuo de conejos .	95
7.4.2.- Evaluación energética de residuos de matadero	96
7.4.3.- Evaluación energética del residuo orgánico de depuradoras urbanas	100
7.5.- VALORACION ENERGETICA TOTAL DE LA BIOMASA RESIDUAL EN ESPAÑA	102

0.- INTRODUCCION

El origen primario de la biomasa se encuentra en la fotosíntesis, o sea, la capacidad por parte de los vegetales de sintetizar moléculas largas a partir de moléculas pequeñas (CO_2 , H_2O), utilizando para ello la energía recibida del sol.

A partir de este concepto, podemos definir la biomasa como el conjunto de todos los compuestos orgánicos de los cuales la energía necesaria para la formación de sus enlaces ha sido tomada de la radiación solar a través del proceso de fotosíntesis vegetal.

Dentro de esta amplia definición podemos establecer dos primeros apartados:

La biomasa primaria, representada por la flora y, a partir de la cual, a través de cadenas tróficas más o menos complicadas, se desarrolla la biomasa secundaria representada por la fauna.

Es precisamente la biomasa, tanto primaria como secundaria, de épocas pretéritas, la que tras diversas modificaciones debidas fundamentalmente a agentes geológicos ha llegado hasta nuestros días bajo la forma de biomasa fósil, siendo sus componentes más representativos, carbón y petróleo, el soporte energético básico de la sociedad industrial en que vivimos como fuente primaria de energía.

El desarrollo de nuestra sociedad industrial ha sido posible gracias a una disponibilidad de energía proveniente de

estos combustibles y a unos costes que permitían una continua expansión que, en el momento actual, se enfrenta a una crisis originada por el encarecimiento de los precios de estos combustibles, por la dependencia del suministro de factores no económicos (políticos fundamentalmente) y por la toma de conciencia de que el horizonte de disponibilidad real es cada vez más estrecho debido al progresivo agotamiento de las reservas.

Por otra parte, tanto la biomasa primaria como la secundaria, son sujeto de múltiples actividades del hombre en las cuales se aprovecha una parte de ellas con distintas finalidades, pero que generan una nueva categoría de biomasa que llamaremos biomasa residual, formada por los restos no aprovechados en los diferentes procesos productivos.

Estos residuos, tanto por su cantidad como por sus características, afectan al entorno de vida del hombre y por lo general de forma negativa con manifestaciones tales como contaminación atmosférica, de acuíferos, destrucción de flora y fauna, generación de olores desagradables, etc., que obligan a actuaciones sobre estos residuos con vistas a minimizar este impacto negativo sobre el medio ambiente.

1.- LA BIOMASA RESIDUAL.

DEFINICIONES Y CRITERIOS BASICOS DE EVALUACION

De acuerdo con los términos establecidos en la introducción de este estudio, definiremos la biomasa residual como el conjunto de productos generados por la actividad humana en procesos de utilización y transformación tanto de la biomasa primaria como secundaria. Este concepto se puede extrapolar válidamente a porciones no utilizables de biomasa aunque no sean efecto directo de la actividad humana. Citaremos, por ejemplo, el matorral y el sotobosque en las explotaciones forestales.

Desde el momento en que esta biomasa está compuesta por moléculas de cadena larga, lo que supone un almacenamiento de energía potencial en estas moléculas, es razonable pensar en procesos inversos que, rompiendo estas moléculas para producir otras más cortas, liberen esta energía en forma aprovechable, con lo cual la biomasa residual se convierte en una fuente energética complementaria.

Ya en el momento actual, la conjunción de condicionantes creados por el encarecimiento de los combustibles convencionales y la creciente presión social sobre el mantenimiento y mejora del medio ambiente, hace que en distintos ámbitos de actividad que van desde el simplemente doméstico, hasta el industrial, se observe una tendencia creciente a utilizar combustibles obtenidos de esta biomasa residual, tendencia que va desde la utilización de esta biomasa como combustible directo (caso de combustibles obtenidos de la biomasa), o a través de procesos más o menos sofisticados (biogas, bioalcohol, etc.).

La aceptación de estas premisas nos lleva a considerar la biomasa como una materia prima energética y, aceptado esto, nos obliga por una parte a cuantificar el total de energía primaria obtenida a partir de esta fuente para su asiento en el balance energético nacional y, de otra parte, a realizar una cuantificación de la reserva energética que supone el total de la biomasa disponible para fines energéticos.

El primer punto queda fuera del contexto de este estudio, ya que constituye el objeto de otro trabajo que con el título "Situación en España de la sustitución de combustibles convencionales por residuos sólidos" se está realizando paralelamente.

Es el cumplimiento del segundo punto el objeto del presente estudio y puesto que se trata de evaluar una reserva de materias primas energéticas habrá de realizarse de acuerdo con los siguientes pasos y criterios:

1º) Inventario

Supone la cuantificación en las unidades físicas correspondientes del residuo disponible para eventuales aplicaciones energéticas.

2º) Valoración energética

Supone la evaluación de los sistemas de tratamiento energético de cada uno de los tipos de residuos contemplados, ya que la valoración energética final será función del balance energético de cada proceso. En este paso se pretende analizar todos los procesos razonablemente posibles desde un punto de vista técnico y seleccionar el óptimo para cada tipo de residuo, explicitando claramente los criterios por los cuales se llega a la conclusión de "proceso óptimo".

3o) Valoración económica

Supone un análisis de la inversión necesaria, del coste de operación del proceso y de los imputs económicos del mismo para determinar los ratios básicos de rentabilidad (retorno, tasa de rentabilidad, etc.). En este aspecto hay que hacer dos distinciones básicas:

- a) Aplicaciones en que prima el aspecto de sustitución energética.

El ejemplo típico de esta aplicación es aquella en la cual se trata de sustituir un combustible determinado (gasóleo , fuel-oil) por residuos de biomasa, en estos casos, el único imput económico es el valor de la energía obtenida valorada al precio del combustible sustituido que era necesario para su obtención.

Como ejemplo permanente está el uso de residuos forestales para alimentación de calderas, hornos, instalaciones de secado, etc.

- b) aplicaciones en que prima la protección medio-ambiental

En estos casos, lo que se busca realmente es una eliminación del residuo no nociva para el medio ambiente, pero como es ta eliminación supone en casi todos los casos una degradación biológica del residuo y al ser exotérmica esta degradación, nos encontramos la energía como subproducto aprovechable.

En estos casos nos encontramos con que, aparte del imput representado por el valor de esta energía (valorada como siempre en términos del combustible al que sustituye), existen otros imputs representados por:

- Coste de operaciones especiales de almacenamiento, transporte y eliminación que son evitados mediante el aprovechamiento energético.
- Coste de multas y exacciones que se producirían por causa de un vertido libre e incontrolado.
- Coste de los efectos sociales y económicos producidos por las citadas acciones (contaminación, destrucción de fauna piscícola, etc.).

Como ejemplo de estas aplicaciones es típico citar el tratamiento de efluentes líquidos o semi-líquidos, tales como alpechines, vinazas, lodos, etc.

c) Aplicaciones de residuos con coste opcional

En estos casos el tratamiento energético resulta penalizado por el coste de opción representado por la utilización como combustible de un residuo que tiene otra utilización posible. Este coste está representado por un precio en origen del residuo mayor que cero.

Como ejemplo podemos citar el uso como combustible de ciertos residuos ganaderos que tienen un precio de mercado como fertilizante.

d) Aplicaciones mixtas

Podríamos definir éstas como aquellas aplicaciones en que se dan simultáneamente dos o más de los aspectos anteriores, siendo la coexistencia de los aspectos a) y b) la que más se presenta.

En todo lo que sigue y para cada tipo de residuo considerado, se seguirán los pasos primero y segundo de la sistemática expuesta, aplicándose el caso tercero a la selección de procesos óptimos que de ellos se desprenda.

2.- OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo de este estudio es la definición y el planteamiento de los procesos que permitan el máximo aprovechamiento de la energía procedente de la biomasa residual.

Este objetivo pasa por las siguientes fases:

- a) Establecimiento del techo límite teórico de esta "reserva" de materia prima energética, lo que supone determinar el residuo potencial que se genera en sus unidades físicas correspondientes.
- b) Delimitación de la parte de esta "reserva" que es racionalmente susceptible de aprovechamiento energético, lo cual supone establecer unos criterios límite de disponibilidad de este residuo en base a factores tales como dispersión, coste de recogida, de transporte, modo de generación, etc.

Una vez obtenidas estas evaluaciones energéticas primarias, habrá de realizarse un estudio de las tecnologías de tratamiento disponibles, determinando cuál es la aplicable a cada residuo en función de sus especiales características físico - químicas y de generación.

Por último, y de acuerdo con los datos de mercado disponibles (desgraciadamente en la actualidad pocos y divergentes), realizar un estudio económico de los distintos procesos siguiendo las directrices expresadas en el apartado anterior.

3.- CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS A CONSIDERAR

Han sido encuadrados en cuatro grupos fundamentales, de nominados:

- R. Forestales
- R.S.U. (Sólidos Urbanos)
- R. Agrícolas
- R. Ganaderos y de depuración de aguas urbanas.

3.1.- CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS FORESTALES

Los residuos de madera susceptibles de utilización son los procedentes de dos operaciones bien diferenciadas, por una parte los que quedan en el aprovechamiento no energético de la madera y por otra los residuos que quedan en el monte después de operaciones de limpieza, clareos, etc., en definitiva la clasificación puede hacerse así:

- Residuos de corte y elaboración de la madera
 - . Residuos de ramas
 - . Corteza, serrín y virutas de ramas
 - . Corteza, serrín y virutas de madera en rollo
 - . Hojas, tocones y raíces
- Residuos de tratamientos selvícolas
 - . Residuos de madera de sierra
 - . Residuos de madera de industria
 - . Leña para astillas

En resumen, los residuos forestales originados son aquellos procedentes de las operaciones realizadas sobre la madera, ya sea en el mismo monte o como residuos de elaboración. Respecto al tipo de residuo considerado hay que decir que lo principal es considerar dos especies, las coníferas y las frondosas, aunque el monte bajo también tiene sus posibilidades de aprovechamiento.

3.2.- CLASIFICACION DE LOS R.S.U.

Este residuo es el resultante de actividades domiciliarias, de pequeñas industrias dentro de las ciudades, así como de reparaciones de viviendas, etc.

Debido a la heterogeneidad del residuo, se han realizado diferentes análisis según zonas, calidad de vida, estaciones del año, etc., llegando a una clasificación muy general en base a la cual se ha sacado la composición media global del residuo.

Como inicio al conocimiento del residuo generado por actividades domiciliarias, se ha considerado que fundamentalmente los RSU generan cuatro fracciones bien diferenciadas:

- Fracción inerte: Compuesta por metales, vidrios, restos de reparaciones domiciliarias, etc.
- Fracción fermentable: Constituida por todos los restos orgánicos de la alimentación.
- Fracción combustible: Dentro de la cual quedan inmersos el papel, cartón, gomas, cueros, plásticos, textiles, etc.

- Fracción humedad: Es la cantidad de agua contenida en el generado total.

3.3.- CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS AGRICOLAS

Los residuos agrícolas se pueden clasificar conforme al siguiente esquema y según tres tipos de residuos: cultivos leñosos y frutales, cereales de grano y cultivos industriales de origen agrícola, comprendiendo:

- Cultivos leñosos y frutales:
 - . Olivo
 - . Viñedo
 - . Almendro
 - . Manzano
 - . Peral
 - . Limonero
 - . Naranja
- Cereales de grano:
 - . De invierno
Trigo, cebada, centeno, avena, (escaña y tranquillón)
 - . De verano
Arroz, maíz, sorgo, alpiste (mijo y panizo)
- Cultivos agrícolas de origen industrial:
 - . Azucareras
Caña de azúcar y remolacha azucarera
 - . Textiles
Algodón, lino textil y cáñamo textil
 - . Oleaginosas
Girasol, lino oleaginoso, cáñamo para semilla, cahuete, cartamo, soja.

3.4.- CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS GANADEROS Y DE DEPURACION DE AGUAS URBANAS

Son los originados por la cabaña animal, y clasificados

según su modo de generación en:

- Residuos ganaderos de animal vivo. Estos son los que comprenden estiércoles, camas, limpieza, etc., considerándose sólo los animales estabulados.
- Residuos ganaderos de animal muerto. Son los referidos a residuos de matadero.
- Residuos no ganaderos susceptibles de ser explotados - por iguales mecanismos de aprovechamiento energético. Se consideran aquí, aunque no sean residuos ganaderos, los lodos de depuradora, y no son cuantificados otros de menor importancia como residuos de industria orgánica (azucareras, alcoholeras, papeleras, etc.).

4.- PROCESOS DE CONVERSION ENERGETICA DE BIOMASA

Debido a la gran diversidad en cuanto a tipos de residuo se refiere y en algunos casos (R.S.U.) a la gran heterogeneidad dentro de cada tipo de residuo, surgen diferentes técnicas en lo referente al aprovechamiento energético de la biomasa residual.

En base a las características de cada tipo surgen los procesos de aprovechamiento por los cuales se aprovecha de forma diferente cada tipo de residuo, obteniéndose diferentes productos energéticos según el tipo de sistema de aprovechamiento.

4.1.- CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LA BIOMASA

En primera instancia los procesos de aprovechamiento de la biomasa se dividen en bioquímicos y termoquímicos, según condicionantes de cada tipo de biomasa, en cuanto a su composición.

Los procesos bioquímicos están basados en la utilización de una microfauna con una serie de condiciones según el proceso. Uno de los mecanismos más importantes es la biometanización de residuos en la cual se pretende formar un combustible gaseoso (CH_4) con propiedades energéticas. También dentro del grupo de los mecanismos de tipo bioquímico aparecen dos procesos, como son las fermentaciones alcohólicas y liguocelulósicas que pretenden la formación de un compuesto combustible pero

ahora en estado líquido, el etanol. Hay otros procesos, también en el grupo de conversiones bioquímicas, los cuales tienen desde el punto de vista energético, una aplicación menos directa, tal es el caso de las fermentaciones aerobias como en el proceso del compostaje.

Los procesos de tipo termoquímico, en origen tienen un tipo de tratamiento totalmente diferente, principalmente por la no presencia de ningún tipo de microorganismo. en el proceso y diferenciándose entre ellos, fundamentalmente, por la cantidad de oxígeno que consume cada uno dentro del proceso.

Al igual que antes tenía bastante importancia el mecanismo de la biometanización, en el caso de las conversiones termoquímicas es el mecanismo de la incineración o combustión completa el que goza de tal privilegio, de esta forma, y con las premisas anteriormente expuestas, el mecanismo de la combustión completa se diferencia de los demás mecanismos de tipo termoquímico en la utilización de un exceso de oxígeno, según el tipo de residuo. En el caso de la gasificación, lo que ocurre es que se realiza una combustión de tipo incompleta, formándose productos gaseosos que pueden utilizarse como combustibles. La extrapolación a la totalidad del caso de la gasificación, en lo que se refiere al oxígeno, da origen a un nuevo mecanismo - llamado licuefacción directa o indirecta, la cual produce, en presencia de ciertos catalizadores, líquidos combustibles, productos gaseosos, así como restos de carbono reaccionados y sin reaccionar.

4.2.- DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE CONVERSION ENERGETICA

Los residuos susceptibles de ser aprovechados desde el punto de vista energético, lo son, no sólo por un mecanismo -

de conversión, sino por varios, de los cuales hay uno que destaca, ya sea desde el prisma del aprovechamiento energético o desde el económico.

4.2.1.- Sistemas de conversión para el aprovechamiento de re siduo forestal

La misión principal de estos sistemas de aprovechamiento es la inversión de los procesos naturales de tipo fotosintético, por procesos de tipo artificial, en los cuales puedan romperse los enlaces antes formados con los consiguientes desprendimientos de energía. Entre estos procesos de tipo artificial, para el caso de conversión de biomasa forestal, hay que tener en cuenta tres principales como son pirolisis, incineración y procesos de fermentación, aunque en realidad también existan algunos otros. Todos estos sistemas quedan enmarcados dentro de las dos vías posibles de aprovechamiento general, es decir, tratamientos térmicos y tratamientos bioquímicos.

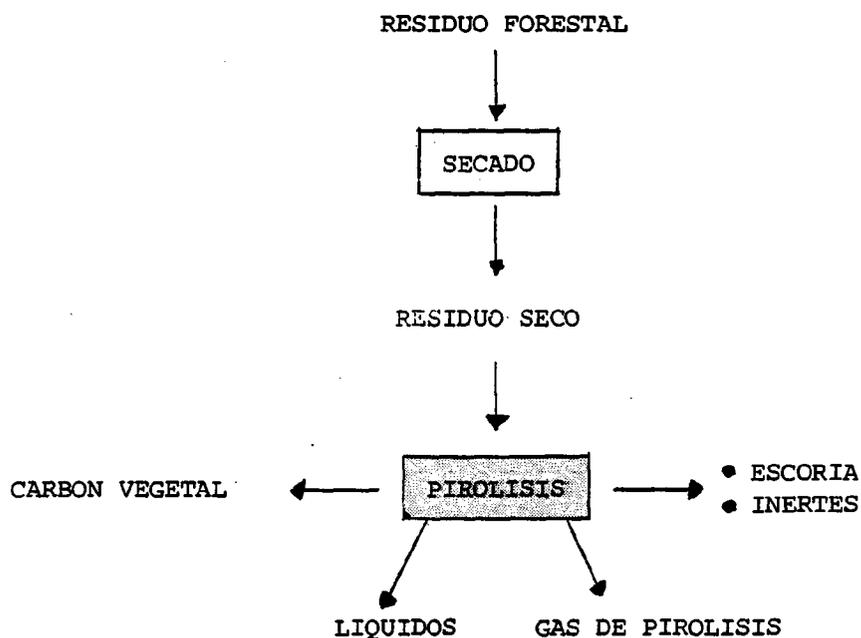
En general cualquier producto de tipo orgánico constituido por almidones, celulosas, etc. es susceptible de servir como material de práctica en los procesos de aprovechamiento energético por vía fermentativa. Sólo es necesario que exista un previo rompimiento de las moléculas tan complicadas para la creación de monómeros sencillos que sean atacables por la microfauna en el proceso de fermentación. Este paso de destrucción de moléculas grandes y creación de monómeros sencillos se denomina hidrolisis y puede ser realizada por diferentes caminos, es decir, de forma enzimática o de forma química (ya sea ácida o básica). Este paso recibe también el nombre de etapa de preparación de mostos y su fin principal es la extracción de azúcares de la materia prima forestal tratada en cada caso. Hay casos en los cuales las moléculas son de tipo azucarado y de

fermentación sencilla, en los cuales no queda incluido el fenómeno de la hidrólisis y la fermentación toma el nombre de fermentación alcohólica. En el resto de los casos, en los cuales es imprescindible el proceso de hidrólisis y la intención es fermentar moléculas complicadas, la fermentación se llama fermentación liguocelulósica y es la que se lleva a cabo en procesos de aprovechamiento de amiláceas (trigo, centeno, cebada, etc.) y celulósicas (Residuo Forestal). En estos casos, en los cuales se necesita un rompimiento molecular en general, y en los casos en los que predomina la celulosa y hemicelulosa, se aplica la hidrólisis enzimática, dando como resultado monómeros, una mezcla azucarada de glucosa, xilosa y celobiosa. Después del paso de la fermentación del mosto o paso del azúcar a alcohol por medio de la microfauna, son convenientes etapas de destilación, rectificación y deshidratación, siempre sin olvidar la existencia del azeotropo que presenta el alcohol etílico en el 96%.

En los sistemas de tratamiento térmico, se somete la biomasa forestal a un proceso de combustión, ya sea con una presencia o con otra de oxígeno, originando en el caso de tener exceso de oxígeno y producirse combustión completa, el sistema de INCINERACION, y en el caso de total ausencia de oxígeno el sistema de PIROLISIS. Los sistemas de tratamiento térmico suelen tener más ventajas que inconvenientes sobre los sistemas bioquímicos, pero una de estas ventajas radica en lo referente al volumen de vertido y las posibilidades de impacto medioambiental, las cuales quedan mucho más reducidas que en el caso de los tratamientos bioquímicos. De todas formas, tanto en unos procesos como en otros, dentro de los tratamientos térmicos, el proceso tiene que ser iniciado con un combustible auxiliar, que posteriormente se prescinde de él, y el proceso queda térmicamente autosostenido y generando energía (INCINERACION),

o por el contrario que la reacción sea endotérmica y no se puede prescindir de él, obteniéndose la energía de los productos obtenidos (PIROLISIS).

Como ya se ha mencionado, la pirolisis consiste en una descomposición de sustancias orgánicas mediante temperaturas, (550-1.100 °C) y en ausencia de oxígeno. Este proceso endotérmico tiene su principal ventaja en la eliminación del residuo y posterior transformación energética. El esquema siguiente muestra los pasos necesarios en el proceso de pirolisis:



ESQUEMA 1.- Sistema de tratamiento pirolítico de residuo forestal.

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta en los procesos de este tipo es la homogeneidad de las materias primas utilizadas, la cual condiciona directamente la homogeneidad de cada producto obtenido en el proceso. Debido a proble-

mas de este tipo y a la dificultad tanto técnica como económica que el proceso conlleva, este tipo de sistemas no están prácticamente utilizados y se encuentran fuertemente desplazados por los procesos con presencia de oxígeno. Es este el motivo por el cual en apartados posteriores no ha sido realizada la valoración por vía pirolítica.

El método de tratamiento térmico por incineración transforma la materia prima (Residuo Forestal) en dos fracciones, - una gaseosa y otra sólida, la cual presenta una fuerte reducción en peso del residuo. La primera de las fracciones consiste en un gas caliente, del cual es posible realizar un aprovechamiento energético, y es desde este punto de vista la fracción más importante a considerar, en estos procesos exotérmicos. En este tipo de sistemas hay un aumento de rendimiento - siempre que el residuo sea introducido seco, y en la mayoría de los casos esto se hace en una primera fase de la incineración, al igual que puede procederse primeramente a un secado natural. La incineración consiste en la introducción del residuo en un horno crematorio a alta temperatura, iniciando la combustión con un combustible auxiliar, y una vez alcanzado el punto de inflamación, comienza la entrada de carburante, evacuándose al final el residuo y las escorias por una parte, así como los gases de salida por otra. El calor producido en el proceso es acumulado, tanto en los gases de combustión como en las escorias de salida (perdidas), al igual que parte del calor de la combustión es desperdiciado por conducción, convección y radiación al exterior, siendo necesario conocer todos estos factores en la valoración energética real de este tipo de residuo.

4.2.2.- Sistemas de conversión para el aprovechamiento de Residuos Sólidos Urbanos

Debido a las fracciones, anteriormente mencionadas, fer

mentables, combustible, inerte y humedad que tienen los R.S.U, estos tienen la posibilidad de generar energía por diferentes vías o sistemas de aprovechamiento.

Fundamentalmente los procesos de aprovechamiento de los RSU están enfocados en dos sentidos, uno el fermentativo y otro el térmico. Dentro del primero se encuentran los fenómenos de fermentación metánica, mesofílica o termofílica, y dentro del segundo (T. térmico) la pirolisis y la incineración con y sin recuperación de energía.

En los fenómenos de bioconversión metánica, ya sean mesofílicos o termofílicos la temperatura óptima de funcionamiento es de 35-40°C para los primeros, y de unos 60°C para los segundos, dándose unas producciones de gas en el primer caso de 0,29 m³/kg m.o. y algo superiores para el segundo. La fermentación metánica de los RSU es un proceso biológico mediante el cual la fracción orgánica del RSU es utilizada por los microorganismos para realizar su proceso metabólico y produciendo principalmente metano y dióxido de carbono entre otros gases. En el proceso hay una primera etapa de ruptura (hidrólisis) y cuando ya las moléculas tienen un tamaño asimilable por los microorganismos surge la segunda etapa de gasificación-metanización (23).

Otra forma de aprovechamiento energético de los RSU es el proceso de pirolisis, el cual queda enmarcado dentro de los procesos térmicos a alta temperatura (250-600°C) y en ausencia de oxígeno, pero siendo necesario un aporte calorífico al sistema.

La descomposición por el proceso de pirolisis da lugar a tres fases bien diferenciadas:

- 1.- Fase gaseosa. Compuesta principalmente por dióxido y monóxido de carbono, hidrógeno, metano, amoníaco, etc.
- 2.- Fase líquida. Que a temperatura ambiente suele estar formada por metanol, acetona, ácido acético, aceites, alquitrán, agua, etc.
- 3.- Fase sólida. En la cual aparecen carbón e inertes.

El proceso de pirolisis muestra cierto valor cuando el residuo a tratar tiene suficiente homogeneidad para que no aparezcan gran diversidad de productos en el resultado final, es por este motivo por el cual se habla de etapa de pretratamiento antes de proceder estrictamente al proceso de pirolisis.

De todas formas no todo son desventajas en el proceso de pirolisis ya que en él, los aceites producidos tienen poca cantidad de azufre, cenizas y nitrógeno, pero son ácidos y termosensibles, por lo que necesitan extremadas precauciones para su manipulación y posterior tratamiento. También el proceso de pirolisis descontamina de productos tóxicos, siendo el producto desde el punto de vista medioambiental mejor que el que pueda quedar en otros sistemas de tratamiento.

Así y en condiciones generales para una tonelada de RSU tratado, puede llegarse a la siguiente composición para una homogeneidad media del residuo:

* Fracción gaseosa	500 m ³
. CO ₂	9,1%
. CO	23,0%
. H ₂	37,8%
. CH ₄	24,4%
. Varios	5,7%

* Aceites ligeros	65 l
* Fracción líquida	125 l
* Residuos sólidos	70 kg

De todos los mecanismos el de mayor importancia desde el punto de vista energético, y además debido al gran aumento con el tiempo de la fracción combustible en los RSU, es la in cineración, el cual, en el caso de que se tenga aprovechamiento energético, será la vía utilizada en este trabajo para la evaluación energética del residuo. Este mecanismo de conversión energética puede ser realizado con una separación primaria de los materiales no combustibles, o sin ella siendo necesario para tomar tal decisión, el conocimiento de algunos factores de tipo económico. Los residuos serán evaluados por combustión completa y con un cierto exceso de oxígeno en el proceso.

4.2.3.- Sistemas de conversión para el aprovechamiento de Residuo Agrícola

Como premisa al estudio de los procesos de aprovechamiento de este tipo de biomasa, hay que decir que salvo casos particulares en los cuales se tengan una serie de condicionantes o necesidades concretas, al igual que cuando el contenido en humedad sea elevado, en la evaluación energética de este tipo de residuos, la valoración por vía húmeda (Bioquímica), no debe ser aconsejada. En efecto, así y de forma aproximada, una tonelada de paja da aproximadamente 1.200 termias por fermentación metánica, mientras que la gasificación produce 2.800, y quemada puede llegar a las 3.500 termias (17). Por tanto y como conclusión, salvo casos particulares, la gasificación y la combustión son las dos vías de valoración adecuadas (Mecanismos Termoquímicos).

En resumen, y según los condicionantes anteriormente ex puestos, las técnicas de conversión termoquímicas son las uti lizadas para el aprovechamiento energético de este tipo de re siduos, y pueden ser clasificadas por orden de oxidación decre ciente en:

- Combustión u oxidación completa en calderas.
- Gasificación u oxidación incompleta, a realizar en ga sógenos, con producción de gas pobre (CO , H_2 , CO_2 , H_2 , N_2) y con un poder calorífico de unas 1.500 kcal/m^3 - de gas.
- Carbonización, pirolisis o descomposición por el ca lor en ausencia de oxígeno, conduciendo a la produc ción de carbón y gas pobre.

Hay una forma especial de aprovechamiento energético de estos residuos, que es el denominado densificación, pero que puede quedar enmarcado dentro de la vía de combustión completa por solo variar la presentación (pellets) a la entrada de las unidades de aprovechamiento.

Una vez escogidos los procesos termoquímicos para el - aprovechamiento de los residuos agrícolas, hay dos factores que condicionan el método concreto de aprovechamiento dentro de es tos procesos, es decir

- La complejidad del proceso directamente relacionado - con los costes de producción y mantenimiento.
- El rendimiento de cada proceso expresado como (20):

$$\left\{ \frac{\text{Valor calorífico del producto primario} \times 100}{\text{Valor calorífico de la materia prima}} \right\}$$

Densificación (Combustión)	88
Gasificación, gas de bajo PC sin depurar ...	81
Gasificación, gas mediano PC	76
Combustión, vapor	70
Gasificación, gas de bajo PC, limpio	69
Combustión, vapor + energía	68
Licuefacción sistema PERC	63
Gasificación, gas natural sintético	61
Gasificación, metanol	57
Fermentación maíz	57
Digestión, gas de mediano PC (Estiercol) ...	48
Digestión, gas natural sintético (Alga marina)	46
Gasificación + conversión (Gasolina)	45*
Cultivo acuático	37
Fermentación madera	35
Fermentación, cultivo azucarado	32*
Fermentación residuo agrícola	31
Licuefacción pirolisis	29
Polimerización gasolina	19
Extracción resina	18

* Subproductos con valor combustible producidos además del combustible primario pero no incluidos en la estimación de la eficiencia.

TABLA 2: Eficiencia para el aprovechamiento energético de algunos procesos de conversión termoquímica (20).

Según los factores antes mencionados, en lo sucesivo, - el mecanismo elegido para la valoración energética de estos residuos es la combustión completa de los mismos.

4.2.4.- Sistemas de conversión para el aprovechamiento de Residuos Ganaderos y de depuración de aguas urbanas

Todos los residuos orgánicos de origen animal en general y el estiércol en particular, son susceptibles de ser sometidos a procesos de degradación anaerobia, descomponiéndose en unos gases y un residuo. Estas fermentaciones, pueden realizarse según seis grupos.

- 1.- Fermentaciones amonizantes
- 2.- Fermentaciones nitrificantes
- 3.- Fermentaciones desnitrificantes
- 4.- Fermentaciones acidificantes
- 5.- Fermentaciones oxidantes
- 6.- Fermentaciones metanizantes

De estos seis tipos de fermentaciones hay dos que son , a la vez que las más interesantes, las más frecuentes. Estos son:

- A - Fermentaciones amonizantes: cuyo fin primordial es la formación de sales solubles de amoniaco, que son utilizados por los microorganismos para su nutrición y su proliferación.
- B - Fermentaciones metanizantes: son las fermentaciones que producen el gas metano combustible.

También el tipo de fermentación, se hace más corto o más largo, según sean las longitudes de las cadenas, así cadenas muy cortas tienen tiempos de descomposición cortos y cadenas largas tienen tiempos largos. En el caso de fermentaciones de

cadenas cortas (fermentaciones rápidas) se producen ácidos orgánicos, existiendo una acumulación de estos en el medio, con lo cual, queda prácticamente bloqueado el proceso de fermentación por aumento del contenido ácido.

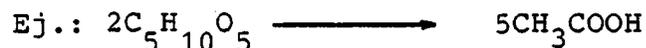
Pero cuando las cadenas son largas, según se van formando los ácidos, se van descomponiendo, produciendo grandes cantidades de gas metano combustible de forma continua.

El proceso de digestión anaerobia queda esquematizado de la siguiente forma:

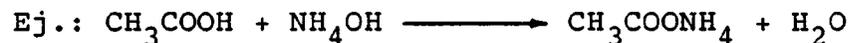
- 1 - Procesos de Hidrolisis: en los cuales las macromoléculas (polimeros) son descompuestos en moléculas monomeras, las cuales son ya susceptibles de sufrir un ataque bacteriológico.
- 2 - Digestión metánica: Quedan incluidos aquí los procesos intermedios, mediante los cuales, se llega a la formación del metano combustible. Estos procesos pueden seguir dos vías:

A - Primera vía: acidificación-salidificación

. Acidificación: el monómero se transforma en ácido



. Salidificación: el ácido, se combina con las bases del medio para dar una sal y neutralizar el sistema.

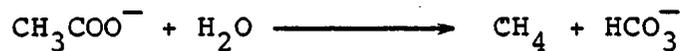


b - Segunda vía: acidificación-gasificación

. Acidificación: el monómero se transforma en ácido

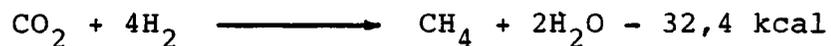
. Gasificación: el ácido se descompone en gas carbónico e hidrógeno.

3.- Metanización: Según sea la vía, la etapa de metanización es diferente. Si el proceso ha seguido la primera vía, el ácido acético pasa según McCarty (1964), Smith y Mah (1966) a formar metano (CH_4). Esto ocurre aproximadamente en el 70% del metano producido.



La etapa de salidificación se encarga de neutralizar el medio con el acético sobrante, de tal forma que no quede paralizada la reacción por acidificación.

Cuando se ha seguido la segunda vía y se ha formado gas carbónico con hidrógeno, estos se recombinan, dando metano y agua, según la reacción:



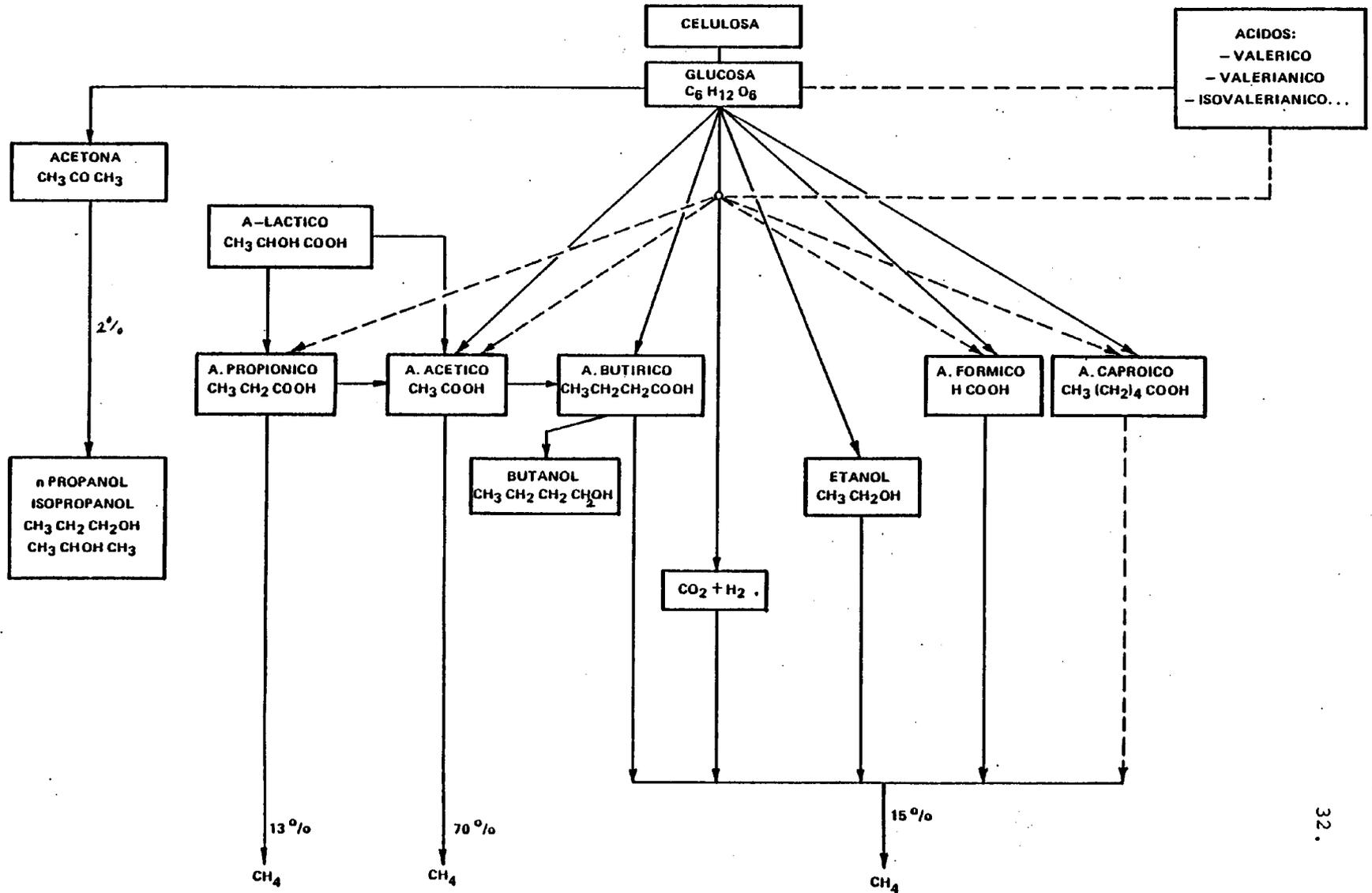
En caso de que el proceso de fermentación se vea detenido en alguno de sus pasos, los siguientes no son realizados, deteniéndose por completo el fenómeno de la fermentación.

Según todo esto y evaluando energéticamente los procesos, se saca la conclusión de que con el proceso de digestión anaerobia se obtiene prácticamente la misma energía que con los calores de combustión de los componentes originales (Hobson, 1974).

Según se observa en el esquema 2, en el proceso de degradación metánica de la celulosa aparecen:

- 1º Monómero común
- 2º Ácidos orgánicos

ESQUEMA 2. — Proceso de degradación metánica de la celulosa



- 3º Alcoholes
 - . Con formación de gas combustible (etanol)
 - . Sin formación de gas combustible (propano, isopropanol y butanol)
- 4º Anhídrido carbónico e hidrógeno
- 5º Metano combustible

4.3.- CONSIDERACIONES PREVIAS PARA LA ELECCION DEL METODO DE CONVERSION

Inicialmente los procesos de conversión dependen del tipo de residuo que se intente aprovechar en cada caso. Con esta consideración y una vez definido el tipo de residuo hay tres factores determinantes del sistema de conversión más adecuado. Uno de ellos, y el más importante desde el punto de vista de determinación del sistema, es la humedad de la materia prima - que es sometida a la conversión, teniendo una frontera del 65% a partir de la cual los caminos deben ser bioquímicos, y hasta la cual deben ser termoquímicos. La frontera que delimita uno u otro camino está determinada, habiendo tenido en cuenta los factores necesarios para el secado de la materia prima, es decir, la energía necesaria para el secado.

Hay otros dos factores de bastante menor importancia como son la relación carbono-nitrógeno y la facilidad de formación y mantenimiento de los microorganismos en el caldo de cultivo de que se trate, pero de todas formas, estos dos factores son más bien excluyentes y no determinantes del mecanismo como le ocurre a la humedad del residuo.

De esta forma en el tratamiento de una biomasa "humeda" por bioconversión no se tendrán problemas, pero en el caso de pensar en un mecanismo termoquímico, es necesario secar, lo -

cual tiene unos límites de rentabilidad desde el punto de vista energético. Análogamente, en el caso de una biomasa seca, no se tienen problemas en la termoconversión, mientras que en el caso de la bioconversión es necesario el hacer previamente operaciones de reducción de tamaño del residuo (ataque bacteriano) y la adición de agua.

4.4.- PLAN DE VALORACION DE LA BIOMASA RESIDUAL EN ESPAÑA

El plan viable de valoración es tal y como muestra el esquema, en el cual aparecen los mecanismos más adecuados, que son los tomados para la valoración de este estudio, y los viables para un aprovechamiento energético.

TIPO DE MECANISMO TIPO DE RESIDUO	TRATAMIENTOS BIOQUIMICOS				TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS		
	BIOMETANIZACION	FERMENTACION ALCOHOLICA	FERMENTACION LIGNOCELULOSICA	F. ANAEROBIA (Compostaje)	INCINERACION	GASIFICACION	PIROLISIS
Residuo forestal	0	0	1	0	S.V.	2	3
R.S.U.	2	1	1	3	S.V.	0	0
Residuo agrícola	1-2	1	2	0	S.V.	2	3
Residuos ganaderos y lodos de depuradora	S.V.	0	0	3	0	0	0

0: Muy difícil; 1: Difícil; 2: viable; 3: Recomendable;

S.V.: Sistema de valoración más adecuado

ESQUEMA 3: Premisas para el aprovechamiento energético de residuos, según cada sistema de conversión.

En el caso de los RSU se considera recomendable la fermentación aerobia (compostaje), pero en este caso es referido a la fracción orgánica. En el caso de la biometanización se refiere a la fracción orgánica y en el de la incineración puede referirse o bien a la fracción combustible o a la totalidad.

Según el esquema nº 3 y con los criterios mencionados anteriormente es fácil comprender el significado del cuadro de la F.A.O., en el cual, según el tipo de biomasa, y teniendo en cuenta condiciones de humedad y relación carbono nitrógeno, recomienda uno u otro tipo de conversión.

TIPO DE BIOMASA	H ₂ O (%)	C/N	PROCESO ACONSEJADO
- Residuos leñosos	< 35		Termoquímicos
- Residuos con elevado contenido celulósico		> 30	Termoquímicos
- Residuos celulósicos y amiláceos	< 35		Hidrolisis + Fermentación alcohólica
- Residuos con elevado contenido en azúcares	15 - 90		Fermentación alcohólica
- Residuos fermentables	< 35	20-30	Digestión anaerobia
- Residuos oleaginosos	< 35		Extracción de aceites
- Residuos de origen animal	70 - 90	20-30	Digestión anaerobia

ESQUEMA 4: Sistemas aconsejables según los tipos de residuo, humedad y C/N (FAO)

De todas formas un tipo de residuo concreto puede ser -

transformado en energía por caminos diferentes a los anteriores siempre que se varíen las condiciones en que se presenta el residuo, como materia prima en el sistema de conversión.

4.5.- ESTADO DE LAS TECNOLOGIAS DISPONIBLES PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE BIOMASA

El grupo técnico de las Naciones Unidas examinó el estado de las tecnologías, plazo de implantación, la atención que se le debe prestar y el estado de desarrollo y observaciones, plasmándose alguno de los resultados más importantes en el esquema 5.

TIPO DE TECNOLOGIA	PLAZO DE IMPLANTACION	ESTADO DE DESARROLLO Y OBSERVACIONES
<u>Conversión termoquímica</u>		
. Combustión directa	Inmediato	Comercial actualmente
. Pirolisis	Corto	Demostración
. Gasificación		
(Gas de bajo valor energ)	Inmediato	Comercial
(Gas de mediano y alto valor energético)	Corto	Demostración
<u>Conversión biológica</u>		
. Biometanización	Inmediato	Comercial
. Fermentaciones	Inmediato	Comercial

ESQUEMA 5: Estado actual de las tecnologías más importantes de conversión energética de biomasa (20)

5.- METODOLOGIA EMPLEADA EN LA VALORACION
ENERGETICA DE BIOMASA

En general la metodología seguida con los diferentes tipos de residuos es, en esencia similar, pero con algunas modificaciones en cada caso particular. Se han seguido en todos los casos tres etapas comunes que han sido afrontadas de formas diferentes, en primer lugar, se ha evaluado la cantidad de residuo generado, donde se ha tenido en cuenta las fracciones que no son posibles de recuperar y las fracciones que tienen ya, algún tipo de utilización específica en algún tipo de industria, llegándose finalmente a una generación potencial, y a una generación utilizable o aprovechable. En segundo lugar, cuantificada la cantidad de residuo generada, se procede a su evaluación energética, desde el punto de vista potencial y utilizable, y además de dos formas diferentes, en primer lugar en cuanto a poder calorífico simplemente y en segundo teniendo en cuenta posibles pérdidas que se puedan tener en el proceso, es decir considerando el poder calorífico a la salida de cada unidad de transformación. Por último, y una vez calculada la cantidad de energía, y conociendo la convencional consumida, se ha calculado la repercusión energética que tiene el aprovechamiento de los residuos.

5.1.- RESIDUOS FORESTALES

Se toman dos formas de generación del residuo por la biomasa forestal:

- 1^a Residuos de corta y elaboración
- 2^a Residuos de tratamientos selvícolas

Una vez englobada la procedencia del residuo bajo estas dos fuentes, para su cuantificación es imprescindible tener en cuenta la necesidad ecológica de la regeneración del monte, al menos en la misma cantidad que ha sido extraída de él. Este factor también es muy importante en la cuantificación del residuo, ya que hay que tener en cuenta un factor, sobresaliente en importancia, como es la "periodicidad" de las operaciones realizadas.

El residuo procedente de estas dos fuentes se engloba bajo la denominación de residuo total.

Con el residuo total, procedente de los dos tipos de operaciones, y mediante los denominados factores de distribución (γ_c , γ_f) se obtiene la cantidad de residuo por especie. Pero es necesario, para una correcta evaluación, tener en cuenta especies no arbóreas como matorrales, espartales, etc., aunque generalmente sean más importantes los residuos procedentes de la corta que los de estos tipos de tratamiento (selvícolas) (Excepción. Ej. Badajoz).

Para la valoración energética del residuo vía incineración, se propone una combustión completa con exceso de aire.

Se deduce estequiométricamente el oxígeno necesario para la combustión y por tanto el aire que debe ser introducido en el incinerador, realizándose también los cálculos para diferentes excesos de aire.

Con ánimo de reducir los cálculos se ha supuesto que la madera que entra en el incinerador está prácticamente seca, lo cual es realmente fácil de conseguir, ya sea de forma natural o de forma artificial aprovechando parte del calor que se pierde. Así quedan definidas como premisas de la incineración:

- 1º Incineración completa
- 2º Exceso de aire
- 3º Madera seca

Estimándose unas pérdidas energéticas totales del 13 al 15%.

Finalmente, evaluado el residuo cuantitativamente, se determina la aportación energética posible del mismo en función de las características del proceso y por último se calcula la incidencia sobre el total de energía primaria consumida a nivel nacional, todo ello sobre datos de 1982.

5.2.- RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

En el caso de los R.S.U. la metodología seguida es algo diferente, ya que aparecen nuevas etapas en el proceso. De todas formas, y de manera general se sigue ajustando la metodología a las tres etapas inicialmente consideradas.

Se ha seguido el método del "coeficiente de generación", y han sido realizados estudios sobre núcleos mayores de 5.000 , 10.000 y 100.000 habitantes, deduciéndose en cada caso la generación de residuos.

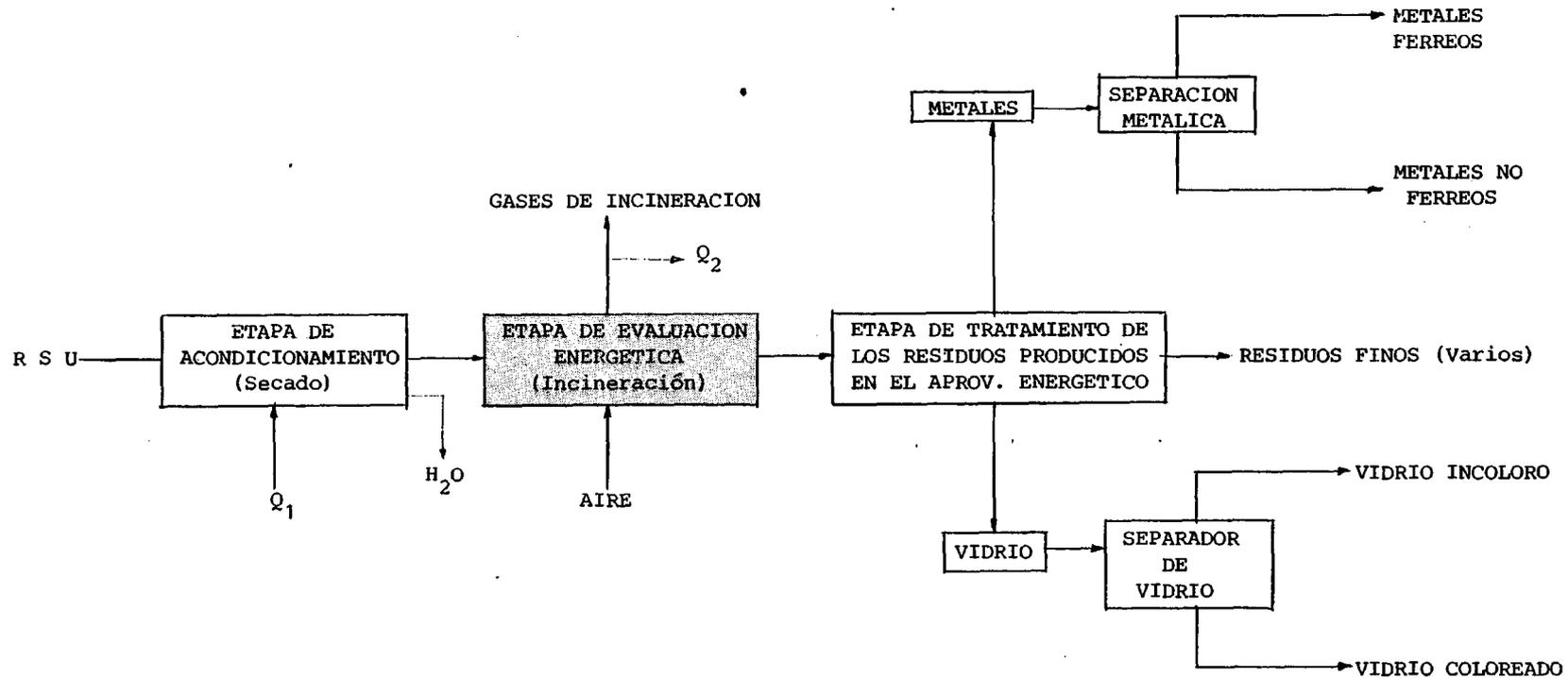
Una vez aplicado el coeficiente de generación, se ha tenido en cuenta la variación estacional, cuya evaluación ha sido promediada a nivel provincial y no a nivel individual. Con todo esto se ha calculado la generación en función de los núcleos considerados. Esta clasificación en cuanto a nº de habitantes , se realiza con objeto de tener los datos necesarios para conocer la rentabilidad, en el caso de recuperaciones energéticas de R.S.U., desde el punto de vista de la capacidad de las plantas.

Con ánimo de simplificar, y con motivo de no introducir en este estudio operaciones de separación, se considera que el residuo que entra en las unidades de conversión, es el total generado, y no como en algunos casos sólo la fracción combustible.

Esta segunda etapa de valoración contiene a su vez otras tres etapas dentro de ella. Primeramente una etapa de acondicionamiento del residuo, en la cual, y debido a la gran variación en las composiciones, se procede a unificar, desde este punto de vista, los R.S.U. Esta etapa es en esencia un proceso de separación del agua que contengan, de tal forma que todos los residuos considerados entran secos en la etapa de valoración, propiamente dicha. Así en el caso de considerar los núcleos mayores de 5.000 hb. se ha estimado una humedad media del 41,5% repercutiendo esto enérgicamente en 247.838 kcal/t R.S.U., y en el caso de los núcleos mayores de 100.000 habitantes se consideró una humedad media del 30% lo cual equivale a 179.170 kcal/t R.S.U.

Seguidamente se pasa a la verdadera etapa de valoración del residuo, necesitándose una cierta cantidad de aire para la combustión y originándose un gas con una cierta composición, - así como un residuo en el cual, aparecen cenizas, escorias, restos de inquemados, etc.

Se calcula el oxígeno necesario para la combustión por estequiometría, así como el aire en exceso, ya sea seco o húmedo. Calculado el aire que entra, se calcula la composición de los gases de salida del incinerador, observándose poca diferencia, en cuanto a la utilización de aire seco, o de aire húmedo, y utilizando en lo sucesivo un valor promedio.



ESQUEMA 6.- Proceso metodológico de la etapa de evaluación de los RSU

Conocida la composición de los gases de salida, a diferentes temperaturas, y con una composición media del residuo, se calcula el contenido entalpico de los gases a las temperaturas de cada caso, conociéndose de esta forma la entalpía global.

Finalmente se procede a la valoración a 1000°C, con unas pérdidas del 14% en el sistema de conversión.

Posteriormente, se considera la recuperación de los residuos de incineración que corresponden aproximadamente a un 25% en peso del total alimentado.

Al igual que con todos los demás tipos de residuos se procede, una vez evaluado el residuo a conocer la repercusión energética que tiene sobre la energía convencional consumida.

5.3.- RESIDUOS AGRICOLAS

Los residuos agrícolas son muy diferentes en cuanto a su composición, debido a la triple existencia de residuos leñosos, cereales e industriales en su contexto. De todas formas la metodología empleada en todos los casos sigue las líneas comunes de casos precedentes.

Primeramente se calcula la generación potencial de una forma teórico-práctica, basada en los rendimientos para cada tipo de cultivo. Una vez calculada la generación potencial, es posible conocer las principales zonas generadoras (método del acumulado) en base a la generación potencial. Cuando ya se conoce la generación potencial de los tres tipos de cultivos, se calcula la generación utilizable, teniendo en cuenta dos factores, por una parte el conocimiento real del consumo de estos residuos en otras actividades, y por otra el rendimiento del proceso cor

ta-recogida, realizándose esta secuencia de estudios a nivel provincial y diferenciándola por tipo de residuo.

Con la generación, tanto del residuo potencial como con la del utilizable o aprovechable, se procede a la valoración del residuo, primeramente teniendo sólo en cuenta el contenido calorífico de los mismos y, después, suponiendo el caso real de los rendimientos de los procesos de incineración (86%) (valoración secundaria).

Por último, se calcula la incidencia de la recuperación de este tipo de residuos la cual consiste, al igual que en casos anteriores, en la repercusión de la energía recuperada sobre la total consumida de forma convencional.

5.4.- RESIDUOS GANADEROS Y LODOS DE DEPURADORA

El mecanismo de valoración de estos residuos es diferente, ya que en estos residuos el mecanismo de valoración es la biometanización. De todas formas son evaluados tres tipos de residuos aquí: los residuos de animal vivo ("Estiércoles"), los de animal muerto ("R. de matadero") y los lodos de depuración de aguas urbanas, siendo cuantificada su generación tanto potencial como utilizable.

Conocida la generación, se evalúan los residuos en base a un acondicionamiento previo, basado fundamentalmente en operaciones de dilución, de tal forma que cada tipo de residuo se metanice en iguales condiciones siempre. Cuando se conoce la nueva cantidad de residuo que pasa la operación de acondicionamiento, se calcula el gas generado y se evalúa energéticamente, obteniéndose como resultado una cifra de la cual el 30% se pierde o se emplea en mantener autosostenido el proceso térmicamente. Por último se calcula la repercusión sobre la energía convencional consumida.

6.- CUANTIFICACION DE LA GENERACION DE
RESIDUOS EN ESPAÑA

6.1.- GENERACION DE RESIDUOS FORESTALES

En el estudio de este tipo de procesos, en los cuales la materia prima (madera), es un residuo renovable, hay que tener muy en cuenta para su cuantificación los tipos de operaciones realizadas en el monte, el residuo que deja cada una de estas y la periodicidad con que son aplicadas.

Para la evaluación del residuo se tiene en cuenta que no se hace ningún tipo de eliminación del mismo en el monte por destrucción térmica sin recuperación energética, sino que todo el generado es susceptible de ser aprovechado energéticamente.

Una vez se tiene cuantificado el residuo, según todos los factores anteriormente mencionados, se aplican los coeficientes de distribución entre coníferas y frondosas y se obtiene la cantidad de residuo disponible según las especies.

La cantidad de residuo generada en años posteriores dependerá de la limpieza que se realice en años pasados, de las repoblaciones que se efectúen, etc. También hay que tener en cuenta el porcentaje de aplicación de la corta y elaboración de la madera, así como los tratamientos selvícolas en el año considerado .

Por término medio en España se genera igual cantidad de residuos de corta y elaboración que de tratamientos selvícolas (45,18% de los primeros y 54,82% de los segundos), mientras que

es algo más de dos veces mayor la cantidad de residuos de coníferas (3.480.916 t/año) que la de frondosas (1.624.184 t/año).

Conceptualmente los dos factores de distribución pueden expresarse así:

$$\gamma_{\bar{c}} = \frac{\text{Residuos de corta, elaboración y tratamiento selvícolas de coníferas}}{\text{Residuo total}} =$$

$$\gamma_{\bar{f}} = \frac{\text{Residuo de corta, elaboración y tratamiento selvícolas de frondosas}}{\text{Residuo total}} =$$

que dan el residuo de conífera y de frondosa que energéticamente son diferentes.

En la tabla 2 se muestran los residuos potenciales en el supuesto caso de que se realizaran las limpiezas y clareos con las periodicidades mínimas, estando inmersos cuantitativamente los residuos "utilizables" dentro de éstos.

Tabla 2.- Residuos potenciales totales (corta y selvícolas), por especies.

	RESIDUO POTENCIAL DE CONIFERAS (Mt/año)	RESIDUO POTENCIAL DE FRONDOSAS (Mt/año)	CANTIDAD DE RESIDUO POTENCIAL GENERADO (Mt/año)
Alava	98,41	40,19	138,6
Albacete	291,94	12,16	304,1
Alicante	72,03	1,47	73,5
Almería	56,67	9,23	65,9
Asturias	98,10	446,90	545,0
Avila	143,88	23,42	167,3
Badajoz	465,38	155,13	620,5
Baleares	116,00	-	116,0
Barcelona	334,07	73,33	407,4
Burgos	231,99	119,51	351,5
Cáceres	342,05	279,85	621,9
Cádiz	72,89	96,61	169,5
Castellón	139,65	2,85	142,5
Ciudad Real	195,17	96,13	291,3
Córdoba	289,01	68,19	357,2
Coruña (La)	411,02	167,88	578,9
Cuenca	527,00	16,30	543,3
Gerona	233,87	125,93	359,8
Granada	84,96	151,04	236,0
Guadalajara	247,86	101,24	349,1
Guipuzcoa	158,60	23,70	182,3
Huelva	208,91	265,89	474,8
Huesca	378,42	66,78	445,2
Jaén	292,93	28,97	321,9
León	44,84	300,06	344,9
Lérida	376,25	61,25	437,5
Lugo	305,39	137,21	442,6
Madrid	115,64	56,96	172,6
Málaga	101,33	30,27	131,6
Murcia	138,10	-	138,1
Navarra	161,50	263,50	425,0
Orense	223,53	49,07	272,6
Palencia	17,17	114,93	132,1
Palmas (Las)	12,50	2,21	14,7
Pontevedra	243,58	76,92	320,5
Rioja (La)	41,75	81,05	122,8
Salamanca	75,43	193,97	269,4
Santander	106,23	215,67	321,9
Segovia	186,63	40,97	227,6
Sevilla	73,35	171,15	244,5
Soria	340,43	33,67	374,1
Tarragona	116,01	3,59	119,6
Tenerife	55,30	33,90	89,2
Teruel	381,71	20,09	401,8
Toledo	63,97	113,73	177,7
Valencia	254,23	2,57	256,8
Valladolid	111,20	18,10	129,3
Vizcaya	235,32	12,39	247,7
Zamora	48,10	144,30	192,4
Zaragoza	153,82	72,38	226,2
T O T A L	9.474,09	4.622,61	14.096,7

Tabla 3.- Distribución del residuo forestal (coníferas y frondosas) utilizable.

PROVINCIA	γ_c	γ_f	RESIDUO TOTAL (t/año)	RESIDUO DE CONIFERAS (t/año)	RESIDUO DE FRONDOSAS (t/año)
Alava	0,71	0,29	55.000	39.050	15.950
Albacete	0,96	0,04	53.400	51.264	2.136
Alicante	0,98	0,02	22.700	22.246	454
Almería	0,86	0,14	17.600	15.136	2.464
Asturias	0,18	0,82	236.800	42.624	194.176
Ávila	0,86	0,14	108.400	93.224	15.176
Badajoz	0,75	0,25	430.500	322.875	107.625
Baleares	1,00	0,00	24.700	24.700	-
Barcelona	0,82	0,18	48.800	40.016	8.784
Burgos	0,66	0,34	65.500	43.230	22.270
Cáceres	0,55	0,45	71.100	39.105	31.995
Cádiz	0,43	0,57	22.400	9.632	12.768
Castellón	0,98	0,02	59.200	58.016	1.184
Ciudad Real	0,67	0,33	103.600	69.412	34.188
Córdoba	0,81	0,19	194.000	157.140	36.860
Coruña	0,71	0,29	228.700	162.377	66.323
Cuenca	0,97	0,03	135.300	131.241	4.059
Gerona	0,65	0,35	44.500	28.925	15.575
Granada	0,36	0,64	41.700	15.012	26.688
Guadalajara	0,71	0,29	57.100	40.541	16.559
Guipúzcoa	0,87	0,13	87.900	76.473	11.427
Huelva	0,44	0,56	137.600	60.544	77.056
Huesca	0,85	0,15	149.400	126.990	22.410
Jaén	0,91	0,09	189.800	172.718	17.082
León	0,13	0,87	50.600	6.578	44.022
Lérida	0,86	0,14	77.800	66.908	10.892
Lugo	0,69	0,31	378.900	261.441	117.459
Madrid	0,67	0,33	30.600	20.502	10.098
Málaga	0,77	0,23	22.700	17.479	5.221
Murcia	1,00	0,00	110.200	110.200	-
Navarra	0,38	0,62	204.100	77.558	126.542
Orense	0,82	0,18	73.000	59.860	13.140
Palencia	0,13	0,87	125.200	16.276	108.924
Palma, La	0,85	0,15	3.600	3.060	540
Pontevedra	0,76	0,24	157.000	119.320	37.680
Rioja	0,34	0,66	113.100	38.454	74.646
Salamanca	0,28	0,72	64.700	18.116	46.584
Santander	0,33	0,67	222.200	73.326	148.874
Segovia	0,82	0,18	90.400	74.128	16.272
Sevilla	0,30	0,70	18.100	5.430	12.670
Soria	0,91	0,09	242.500	220.675	21.825
Tarragona	0,97	0,03	22.000	21.340	660
Tenerife	0,62	0,38	52.200	32.364	19.836
Teruel	0,95	0,05	82.800	78.660	4.140
Toledo	0,36	0,64	45.200	16.272	28.928
Valencia	0,99	0,01	123.300	122.067	1.233
Valladolid	0,86	0,14	31.800	27.348	4.452
Vizcaya	0,95	0,05	135.800	129.010	6.790
Zamora	0,25	0,75	14.500	3.625	10.875
Zaragoza	0,68	0,32	27.100	18.428	8.672
TOTAL	-	-	5.105.100	3.480.916	1.624.184

6.2.- GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

Este estudio ha sido realizado en base al número de habitantes de cada municipio dentro del territorio nacional. Para su evaluación han sido considerados núcleos mayores de 5.000, 10.000, 50.000 y 100.000 habitantes, así como el total, es decir, todos los núcleos de población.

Según el número de habitantes, se ha seguido la metodología del coeficiente de generación per cápita (kg/hb/día), evaluando la generación en cada municipio.

	<u>kg/hb/día</u>
- Municipios con más de 1.000.000 de habitantes	0,90
- Municipios entre 100.000 y 1.000.000 de habitantes	0,75
- Municipios entre 20.000 y 100.000 habitantes	0,65
- Municipios con menos de 20.000 habitantes	0,55

Una vez aplicado el coeficiente de generación, se ha tenido en cuenta la variación estacional (\bar{c}_{VE}), que ha sido evaluada media para cada provincia. De esta forma se ha llegado al cálculo de la generación, según el tipo de núcleos considerados en un día. Este valor es extrapolado a un año y con el total de municipios es evaluado el total nacional.

Según el tipo de núcleos considerados, se ha llegado a la siguiente generación.

Tabla 4.- Generación nacional de RSU según el tipo de municipio considerado .

tipo de núcleos	nº habitantes	generación (t/año)
TOTAL (> 0)	37.746.260	9.605.422
> 5.000	31.183.125	8.279.727
>10.000	-	7.404.820
>50.000	-	5.520.911
>100.000	15.707.915	4.727.879

Se ha considerado generación "potencial" la de los núcleos mayores de 5.000 habitantes y la de más de 100.000 habitantes se ha denominado "utilizable". En el gráfico 2 se observa la evolución de la generación según el tipo de núcleo considerado.

La generación potencial corresponde aproximadamente a un 83-85% de la generación total de RSU en el territorio nacional, no siendo rentable su aprovechamiento energético por problemas de economía de escala, pero siendo interesante el conocimiento de su cuantía desde el punto de vista de potencialidad energética del residuo.

Esta generación potencial representa un total de 31.138.125 habitantes sobre el total nacional, lo que equivale a un factor medio de generación (incluida la variación estacional) de 0,73 kg/hb/día. En la tabla 5 quedan agrupados por provincias los datos de este tipo de generación.

La generación utilizable corresponde a núcleos mayores de 100.000 habitantes, lo que equivale a un 48-50% de la generación total nacional.

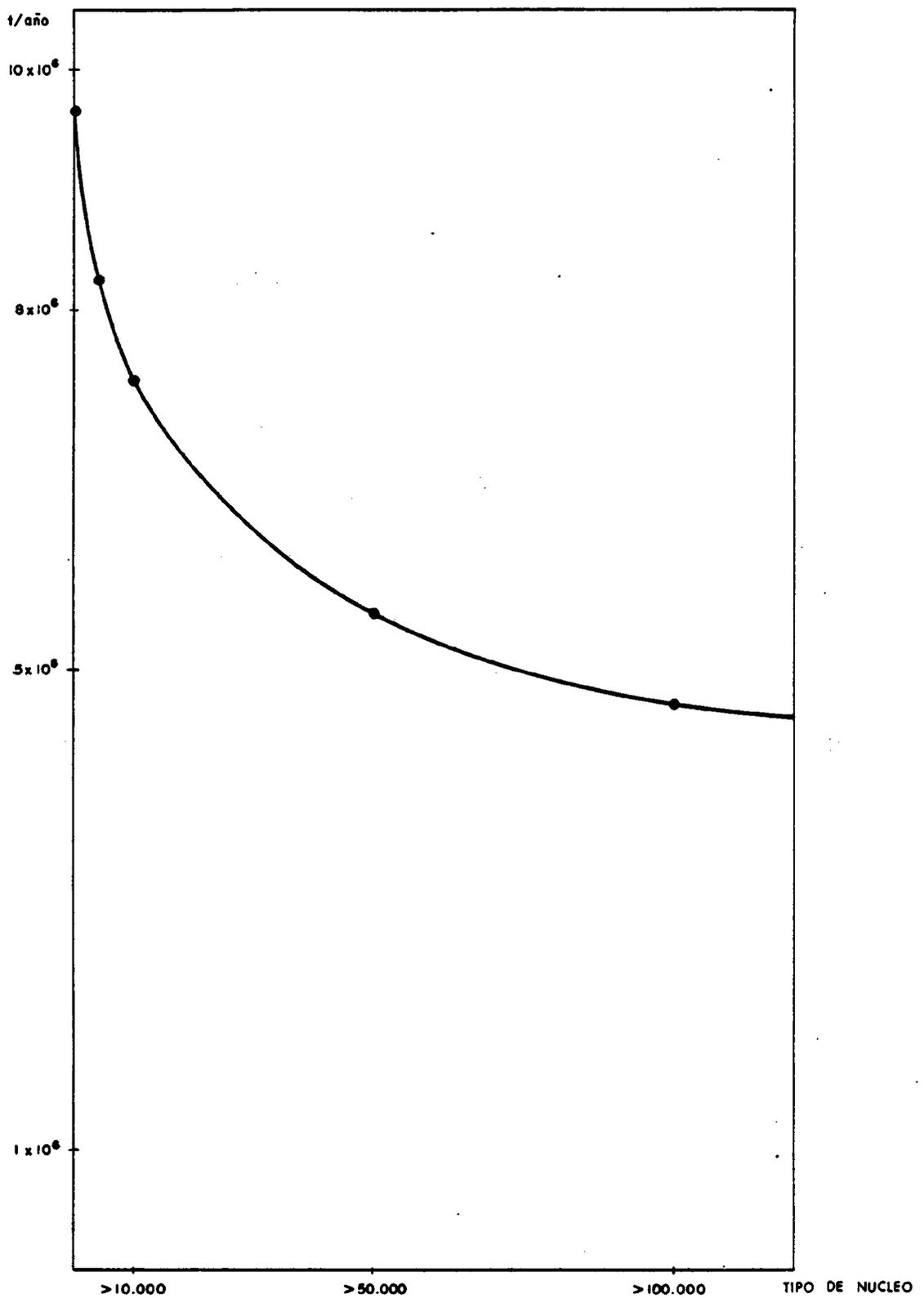


Grafico 2.- GENERACION DE RESIDUOS SEGUN EL TIPO DE RESIDUO CONSIDERADO.

Ha sido asignada la denominación "utilizable" no porque en la actualidad la generación de este tipo de núcleos sea rentable su aprovechamiento energético, sino porque en algunos de los casos estos núcleos pueden ser agrupados para su transformación energética. Además la generación realmente utilizable, debe ser algo superior, debido a la generación de núcleos próximos a los 100.000 habitantes.

La generación utilizable representa un 57% de la denominada potencial, correspondiente a un valor de 4.727.879 t/año y representando esta cantidad a una población de 15.707.915 habitantes (tabla 6).

Tabla 5.- Generación anual de RSU en núcleos mayores de 5.000 habitantes (generación potencial)

Provincia	poblacion de hecho (> 5.000 hb)	\bar{c}_{VE}	t/año
ALAVA	220.382	1,00	58.644
ALBACETE	218.897	1,00	53.304
ALICANTE	1.034.820	1,14	282.555
ALMERIA	281.723	1,13	76.006
ASTURIAS	1.035.879	1,05	259.612
AVILA	60.125	1,00	13.404
BADAJOS	404.211	1,00	92.424
BALEARES	598.553	1,37	198.135
BARCELONA	4.330.360	1,02	1.212.060
BURGOS	231.085	1,00	59.340
CACERES	187.596	1,00	40.884
CADIZ	971.526	1,08	252.223
CASTELLON	314.216	1,04	77.712
CIUDAD REAL	368.305	1,00	79.284
CORDOBA	607.573	1,00	143.556
CORUÑA	978.688	1,15	352.981
CUENCA	75.173	1,00	16.404
GERONA	291.505	1,23	78.060
GRANADA	531.470	1,03	130.494
GUADALAJARA	72.305	1,00	16.356
GUIPUZCOA	629.916	1,05	151.907
HUELVA	305.288	1,16	81.000
HUESCA	116.084	1,00	24.576
JAEN	487.178	1,00	105.696
LEON	278.457	1,00	66.468
LERIDA	180.549	1,00	43.644
LUGO	262.206	1,02	55.746
MADRID	4.554.650	1,00	1.372.764
MALAGA	886.936	1,02	264.390
MURCIA	936.216	1,12	250.375
NAVARRA	302.800	1,00	74.016
ORENSE	261.318	1,00	46.296
PALENCIA	96.679	1,00	21.816
PALMA L.	721.816	1,00	224.808
PONTEVEDRA	846.927	1,14	208.651
RIOJA	169.408	1,00	41.532
SALAMANCA	205.019	1,00	52.640
SANTANDER	364.808	1,10	95.971
SEGOVIA	62.202	1,00	14.232
SEVILLA	1.329.803	1,00	321.960
SORIA	37.696	1,00	8.616
TARRAGONA	356.685	1,10	90.753
TENERIFE	605.060	1,00	145.116
TERUEL	48.031	1,00	10.524
TOLEDO	230.300	1,00	40.992
VALENCIA	1.781.007	1,10	471.411
VALLADOLID	378.224	1,00	98.640
VIZCAYA	1.091.211	1,00	268.116
ZAMORA	82.024	1,00	18.384
ZARAGOZA	671.922	1,00	178.572
T O T A L	31.183.125	-	8.279.727

Tabla 6.- Generación de RSU en núcleos mayores de 100.000 habitantes

MUNICIPIO	POBLACION DE HBCHO	C ^{VE}	GENERACION		
			T. baja (275 d/año) (t/d)	T. alta (90 d/año) (t/d)	TOTAL (t/año)
ALAVA	192.773	1,00	145	145	52.772
ALBACETE	117.126	1,00	88	88	32.063
ALICANTE	251.387	1,50	189	283	77.302
- Elche	162.873	1,00	122	122	44.586
ALMERIA	140.946	1,50	106	159	43.341
BADAJOS	114.361	1,00	86	86	31.306
BALEARES	304.422	2,00	228	457	103.884
BARCELONA	1.754.900	1,00	1.579	1.579	576.485
- Badalona	227.744	1,50	171	256	70.031
- L'Hospitalet de Llobreg.	294.033	1,00	221	221	80.492
- Sabadell	184.943	1,00	139	139	50.628
- Sta. Coloma de Gramanet	140.588	1,50	105	158	43.231
BURGOS	156.449	1,00	117	117	42.828
CADIZ	157.766	1,50	118	177	48.513
- Jerez de la Frontera	176.238	1,00	132	132	48.245
CASTELLON	126.464	1,00	95	95	34.620
CORDOBA	284.737	1,00	214	214	77.947
CORUÑA (La)	232.356	2,00	174	349	79.291
GRANADA	262.182	1,00	197	197	71.772
GUIPUZCOA	175.576	1,50	132	198	53.990
HUELVA	127.806	2,00	96	192	43.614
LEON	131.134	1,00	98	98	35.898
LERIDA	109.573	1,00	82	82	29.996
MADRID	3.188.297	1,00	2.869	2.869	1.047.356
- Alcalá de Henares	142.862	1,00	107	107	39.108
- Alcorcón	140.657	1,00	105	105	38.505
- Getafe	127.060	1,00	95	95	34.783
- Leganés	163.426	1,00	123	123	44.738
- Móstoles	149.649	1,00	112	112	40.966
MALAGA	503.251	1,50	377	566	154.750
MURCIA	288.631	1,00	216	216	79.013
- Cartagena	172.751	1,50	130	194	53.121
NAVARRA	183.126	1,00	137	137	50.131
OVIEDO	190.123	1,00	143	143	52.046
- Gijón	225.969	1,50	192	288	78.710
PALMAS (Las)	366.454	1,00	275	275	100.317
PONTEVEDRA (Vigo)	258.724	1,50	194	291	79.558
RIOJA	110.980	1,00	83	83	30.381
SALAMANCA	167.131	1,00	125	125	45.752
STI. CRUZ DE TENERIFE	190.784	1,00	143	143	52.227
- La Laguna	112.635	1,00	84	84	30.834
SANTANDER	180.328	1,50	135	203	55.451
SEVILLA	653.833	1,00	490	490	178.967
TARRAGONA	111.689	1,50	84	126	34.344
VALENCIA	751.734	1,50	564	846	231.158
VALLADOLID	330.242	1,00	248	248	90.404
VISCAYA	433.030	1,00	325	325	118.542
- Baracaldo	117.422	1,00	88	88	32.144
ZARAGOZA	590.750	1,00	443	443	161.718

6.3.- GENERACION DE RESIDUOS AGRICOLAS

Son evaluados tres tipos de residuos procedentes de los cultivos leñosos y frutales, cereales de grano y tres de los más importantes residuos desde el punto de vista cuantitativo de los residuos industriales (caña de azúcar, algodón y girasol).

Desde el punto de vista potencial, los residuos proceden de operaciones de poda limpieza y en algunos casos de los sistemas de recogida de los frutos, no teniéndose en cuenta las dificultades de algunas de las operaciones que disminuirían la cantidad de residuo generado, tal como operaciones de recolección, etc. Tampoco ha sido tenido en cuenta, desde el punto de vista potencial, un factor muy importante (sobre todo en cultivos leñosos y frutales) como es la doble dispersión que presentan estos residuos, por una parte la geográfica y, por otra, la debida a las "temporadas" de cada residuo. La generación total potencial, en el caso de residuo de cultivos leñosos y frutales asciende a 3.412.127 t/a, lo cual representa, desde el punto de vista potencial un 13,62% del total potencial agrícola generado (tabla 8). En el caso de los cultivos de cereales de grano, son considerados los cultivos de trigo, maíz, avena, sorgo, cebada, alpiste y centeno, generando 20.767.720 t/a; desde el punto de vista potencial representa un 82,91% del total potencial agrícola generado. Para la estimación de estos residuos de cereales de grano ha sido considerada una cierta altura de corta la cual puede ser variada dependiendo de una serie de condicionantes, así como de uncultivo a otro (tabla 8).

En el caso de la generación potencial de residuos de cultivos industriales, la cuantía es, con diferencia, la de menor importancia dentro de los residuos agrícolas con una generación potencial de 869.400 t/a distribuidas en 160.300 t/a para azucareras (sin considerar la remolacha), 271.400 t/a para residuos de la industria textil (sin considerar el residuo de lino

textil , y cáñamo textil, es decir sólo algodón) y, finalmente, 437.700 t/a para la industria de oleaginosas (sin considerar el lino oleaginoso, cáñamo para semilla, cacahuete, soja , etc., es decir, sólo considerando el girasol). Estos residuos de cultivos industriales representan un 3,47% sobre el total agrícola generado (tabla 8). Según todo ésto la generación potencial asciende a 25.049.247 t/a.

No todo el residuo generado por una cierta provincia o región es susceptible de su aprovechamiento por mecanismos de conversión energética, sino que hay parte del mismo que, debido a sus características, la zona geográfica donde se genera y la demanda del mismo en esa zona, se pierde o se da otra utilización diferente a la energética.

Entre las principales vías de utilización de estos residuos (principalmente cereales de grano), se encuentra la utilización de los mismos en papeleras, alimentación de ganado, e incluso, en la incorporación al suelo con objeto de aumentar su contenido en materia orgánica y también las prácticas de incineración sobre el terreno.

Con el cálculo de la generación potencial y teniendo en cuenta todos los factores anteriormente mencionados, es posible evaluar la generación utilizable de estos residuos. En el caso de los residuos de cultivos leñosos y frutales, se ha considerado que el naranjo, limonero, peral, manzano y almendro , pueden dar lugar a una recuperación prácticamente total, mientras que no se tiene en cuenta la dispersión que, posiblemente, desde el punto de vista económico, lo haga inviable. En el caso del viñedo y del olivar se consideran recuperables el 80 y 70%, respectivamente, teniéndose en cuenta factores como otras posibles utilizaciones (ganado, industria, etc.), que son realizadas de forma puntual en cada provincia (tabla 10). Real -

Tabla 7.- Generación total potencial de residuos agrícolas en España

PROVINCIA	CULTIVOS LEÑOSOS Y FRUTALES (t/a)	CEREALES DE GRANO (t/a)	CULTIVOS INDUSTRIAL (t/a) (*)
ALAVA	3.000	163.700	-
ALBACETE	79.200	740.400	30.900
ALICANTE	105.800	72.150	4.000
ALMERIA	46.450	64.860	2.600
ASTURIAS	4.000	130.900	-
AVILA	10.405	151.850	3.000
BADAJOS	321.500	768.300	14.500
BALEARES	58.600	79.100	-
BARCELONA	20.307	209.500	-
BURGOS	7.700	891.300	-
CACERES	138.000	565.150	10.900
CADIZ	23.108	281.500	45.000
CASTELLON	77.700	56.400	-
CIUDAD REAL	199.900	582.150	10.000
CORDOBA	319.883	570.050	96.300
CORUÑA, La	1.300	523.200	-
CUENCA	81.740	466.850	85.000
GERONA	8.140	138.700	-
GRANADA	133.824	445.800	86.900
GUADALAJARA	26.044	388.140	4.200
GUIPUZCOA	-	9.000	-
HUELVA	50.589	61.000	12.200
HUESCA	30.053	905.450	2.300
JAEN	635.986	290.620	21.600
LEON	17.300	366.300	-
LERIDA	79.822	1.174.000	700
LUGO	1.700	265.700	-
MADRID	34.096	328.500	3.800
MALAGA	99.160	106.000	94.000
MURCIA	87.710	258.150	7.800
NAVARRA	18.199	605.550	-
ORENSE	7.000	173.900	-
PALENCIA	2.100	593.100	-
PALMAS, Las	2.200	2.600	1.200
PONTEVEDRA	4.000	691.100	-
RIOJA	22.426	254.000	-
SALAMANCA	18.841	416.300	8.100
SANTANDER	-	70.000	-
SEGOVIA	2.000	317.900	9.800
SEVILLA	107.699	1.093.300	276.000
SORIA	900	506.100	-
TARRAGONA	95.500	205.100	-
TENERIFE	3.300	12.700	2.100
TERUEL	39.598	379.800	-
TOLEDO	140.600	774.500	18.000
VALENCIA	150.100	361.800	1.500
VALLADOLID	9.000	864.300	7.000
VIZCAYA	-	156.600	-
ZAMORA	16.700	616.800	10.000
ZARAGOZA	68.947	1.617.550	-
TOTAL	3.412.127	20.767.720	869.400

(*) Caña de azúcar, algodón y girasol.

Tabla 8.- Recuperación de la generación de cada tipo de residuo agrícola, sobre el total potencial del residuo generado.

TIPO DE CULTIVO	(%) RESPECTO AL TOTAL POTENCIAL AGRICOLA GENERADO	(%) RESPECTO A LA GENER. POTENCIAL DE CADA TIPO DE CULT.
CULTIVOS LEÑOSOS Y FRUTALES		
Naranja	0,51	3,72
Limonero	0,06	0,45
Peral	0,06	0,47
Olivar	8,63	63,34
Manzano	0,14	1,06
Almendro	1,52	11,14
Viñedo	2,70	19,82
TOTAL	13,62	100,0
CULTIVOS DE CEREALES DE GRANO		
Trigo	23,30	28,11
Maíz	21,71	26,18
Arroz	2,20	2,65
Avena	3,04	3,67
Sorgo	1,07	1,29
Cebada	29,04	35,03
Alpiste	0,02	0,02
Centeno	2,53	3,05
TOTAL	82,91	100,0
CULTIVOS INDUSTRIALES		
Caña de Azúcar	0,64	18,44
Algodón	1,08	31,22
Girasol	1,75	50,34
TOTAL	3,47	100,0

mente la generación utilizable no es 2.628.429 t/año, ya que deben eliminarse las generaciones inferiores a 10.000 t/a, quedando como generación realmente utilizable de 2.325.797 t/a. En lo referente a cultivos de cereales de grano, la metodología seguida ha consistido en la aplicación de rendimientos específicos por tipo de cereal y después, de forma puntal, se han tenido en cuenta otros tipos de factores que inciden en la generación. Los rendimientos para cada tipo de cultivo (tabla 9), han sido evaluados en función de una gran cantidad de parámetros como, por ejemplo, dificultad de la recolección, dispersión individual, etc.

Tabla 9.- Rendimiento para el cálculo del utilizable en residuos de cereales

tipo de cultivo	trigo	maiz	arroz	avena	sorgo	cebada	alpiste	centeno
Rendimiento medio considerado (%)	70	40	65	70	90	70	90	70

Se ha considerado una cantidad mínima recogible por provincia de 10.000 t/a, no considerándose en el cómputo total los casos de generación inferiores. En la tabla 11 se han tenido en cuenta todos los factores mencionados y se presenta la utilización total de residuos de cereales de grano.

Por último, en el caso de los cultivos industriales, nunca ha sido recuperado desde el punto de vista energético, ninguno de ellos, lo cual puede ser posiblemente debido a su débil generación potencial 869.400 t/a.

De todas formas y basándose en la forma de recolección del fruto, puede pensarse en altos índices en cuanto a la fracción utilizable. Así, por ejemplo, la cosechadora del girasol, corta la caña por su parte inferior, siendo introducidos en ella caña, torta y frutos, cosechándose el fruto y, en la actualidad, tirándose el resto, lo cual podría seleccionarse en otra

Tabla 10.- Generación utilizable de residuos leñosos y frutales

PROVINCIA	NARANJO (t/a)	LIMONERO (t/a)	PERAL (t/a)	OLIVAR (t/a)	MANZANO (t/a)	ALMENDRO (t/a)	VÍVEDO (t/a)	TOTAL (t/a)
ALAVA	-	-	-	-	-	-	2.400	2.400
ALBACETE	-	-	100	10.080	1.500	9.500	42.960	64.140
ALICANTE	11.800	6.000	500	12.880	3.300	40.400	20.320	95.200
ALMERIA	3.100	400	-	6.615	-	29.200	3.440	42.755
ASTURIAS	-	-	-	-	4.000	-	-	4.000
AVILA	-	-	-	3.084	1.000	-	4.000	8.084
BADAJOS	-	-	1.900	197.120	800	1.800	28.320	229.940
BALEARES	900	-	-	-	-	55.900	1.440	58.240
BARCELONA	-	-	700	3.015	800	2.000	10.000	16.515
BURGOS	-	-	-	-	700	-	5.600	6.300
CACERES	-	-	800	93.240	-	-	3.200	97.240
CADIZ	-	-	-	10.296	-	700	6.160	17.156
CASTELLON	20.700	-	1.200	14.000	700	28.400	5.360	70.360
C. REAL	-	-	-	62.370	-	2.400	86.720	151.490
CORDOBA	1.500	-	-	214.048	-	2.100	8.400	226.048
CORUÑA, La	-	-	-	-	800	-	400	1.200
CUENCA	-	-	-	22.218	900	5.800	34.640	63.558
GERONA	-	-	-	2.618	1.200	-	2.560	6.378
GRANADA	700	-	-	66.937	-	32.600	3.920	104.157
GUADALAJARA	-	-	-	16.481	-	500	1.600	18.581
GUIPIZCOA	-	-	-	-	-	-	-	-
HUELVA	1.800	-	-	23.502	-	6.100	7.200	38.602
HUESCA	-	-	1.700	9.487	1.300	10.000	2.800	25.287
JAEN	-	-	-	440.990	-	4.800	960	446.750
LEON	-	-	-	-	1.100	-	12.960	14.060
LERIDA	-	-	5.400	29.625	6.600	21.900	2.880	66.405
LUGO	-	-	-	-	500	-	960	1.460
MADRID	-	-	-	12.457	500	600	12.160	25.717
MALAGA	3.400	1.800	-	49.602	-	16.600	5.200	76.602
MURCIA	4.300	7.000	-	6.167	1.500	40.100	20.800	79.867
NAVARRA	-	-	-	2.309	-	2.400	10.000	14.709
ORENSE	-	-	-	-	-	-	5.600	5.600
PALENCIA	-	-	-	-	-	-	1.680	1.680
PALMAS, L.	-	-	-	-	-	1.300	720	2.020
PONTEVEDRA	-	-	-	-	-	-	3.200	3.200
RIOJA	-	-	500	1.838	-	6.000	10.640	18.978
SALAMANCA	-	-	-	7.379	-	2.800	4.400	14.579
SANTANDER	-	-	-	-	-	-	-	-
SEGOVIA	-	-	-	-	-	-	1.600	1.600
SEVILLA	7.800	-	-	68.039	-	700	1.600	78.139
SORIA	-	-	-	-	-	-	720	720
TARRAGONA	1.600	-	-	35.000	500	17.600	20.640	75.340
TENERIFE	-	-	-	-	-	-	2.640	2.640
TERUEL	-	-	-	15.749	900	7.700	6.800	31.149
TOLEDO	-	-	-	52.920	-	1.100	51.120	105.140
VALENCIA	69.300	-	1.300	14.280	1.900	13.200	35.200	135.180
VALLADOLID	-	-	-	-	-	-	7.200	7.200
VIZCAYA	-	-	-	-	-	-	-	-
ZAMORA	-	-	-	-	700	2.000	11.200	13.900
ZARAGOZA	-	-	2.000	8.643	4.800	14.000	28.640	58.083
TOTAL	126.900	15.200	16.100	1.513.069	36.000	380.200	540.960	2.628.429

Nota: La generación realmente utilizable sería el resultado de no cuantificar las generaciones inferiores a 10.000 t/a, generándose 2.325.797 t/a.

Tabla 11.- Generación utilizable de cereales de grano, así como su rendimiento global por provincias.

PROVINCIA	UTILIZABLE	RENDIMIENTO REAL GLOBAL (%)	% S/TOTAL DE CEREALES DE GRANO
ALAVA	-	-	-
ALBACETE	491.200	66,34	4,24
ALICANTE	19.640	27,50	0,17
ALMERIA	26.250	40,47	0,23
ASTURIAS	50.000	38,20	0,43
AVILA	97.090	55,64	0,84
BADAJOS	487.650	63,47	4,21
BALEARES	-	-	-
BARCELONA	13.250	6,32	0,11
BURGOS	614.810	68,98	5,31
CACERES	262.190	46,57	2,27
CADIZ	179.100	63,62	1,55
CASTELLON	13.640	24,54	0,12
CIUDAD REAL	381.060	65,46	3,29
CORDOBA	354.860	62,25	3,07
CORUÑA, La	200.310	38,29	1,73
CUENCA	311.080	66,63	2,69
GERONA	51.250	36,95	0,44
GRANADA	259.680	58,25	2,24
GUADALAJARA	269.780	69,51	2,33
GUIPUZCOA	-	-	-
HUELVA	22.960	37,64	0,20
HUESCA	574.305	63,43	4,96
JAEN	167.190	57,53	1,44
LEON	72.680	19,84	0,63
LERIDA	681.270	58,03	5,89
LUGO	121.310	45,66	1,05
MADRID	185.600	56,50	1,60
MALAGA	67.155	63,35	0,58
MURCIA	130.760	50,65	1,13
NAVARRA	91.080	15,04	0,79
ORENSE	94.290	54,22	0,81
PALENCIA	415.170	70,00	3,59
PALMAS, Las	-	-	-
PONTEVEDRA	252.890	36,59	0,19
RIOJA	153.300	63,03	1,32
SALAMANCA	268.490	64,49	2,32
SANTANDER	25.960	37,09	0,22
SEGOVIA	222.530	70,00	1,92
SEVILLA	678.415	62,05	5,86
SORIA	342.370	67,65	2,96
TARRAGONA	90.920	44,33	0,79
TENERIFE	-	-	-
TERUEL	254.290	64,19	2,20
TOLEDO	515.230	66,52	4,45
VALENCIA	185.205	51,19	1,60
VALLADOLID	588.140	68,05	5,08
VIZCAYA	-	-	-
ZAMORA	413.790	67,09	3,58
ZARAGOZA	873.230	53,98	7,55
TOTAL	11.572.770	-	100,00

zona de la cosechadora o de alguna forma intentar que no se tire al suelo, ya que en él desciende notablemente la fracción utilizable. En el caso del algodón la fracción susceptible de ser utilizada posteriormente, es mucho menor y por tanto éste es, desde el punto de vista cuantitativo, junto al residuo de caña de azúcar, el residuo de menor importancia dentro de los residuos industriales.

En el caso de la caña de azúcar, la filosofía es totalmente distinta, ya que en la actualidad se está empleando en transformaciones energéticas, aunque en ningún caso con recuperación de energía. Paralelamente al residuo de girasol, en el caso del bagazo de la caña de azúcar, hay unas zonas andaluzas con gran generación, tal es el caso de Málaga, Granada y Almería, alcanzando entre ellas un 97,4% del total de los residuos potencialmente generados.

Según las premisas anteriores, se ha considerado un aprovechamiento total del potencial en el caso del girasol y de la caña de azúcar, y solo susceptible de recuperar un 60% en el caso del residuo de algodón, siendo el generado utilizable de:

- Residuo de algodón	138.240 t/a
- " de girasol	392.400 "
- " de caña de azúcar	154.400 "
TOTAL.	685.040 "

Tabla 12.- Generación utilizable de los residuos agrícolas industriales considerados

PROVINCIA	RESIDUO DE ALGODON	RESIDUO DE GIRASOL	RESIDUO DE CAÑA DE AZUCAR
ALAVA	-	-	-
ALBACETE	-	30.900	-
ALICANTE	(2.400)	-	-
ALMERIA	-	-	(2.600)
ASTURIAS	-	-	-
AVILA	-	(3.000)	-
BADAJOS	(1.440)	12.000	-
BALEARES	-	-	-
BARCELONA	-	-	-
BURGOS	-	-	-
CACERES	(5.880)	(1.100)	-
CADIZ	(8.940)	30.100	-
CASTELLON	-	-	-
CIUDAD REAL	-	10.000	-
CORDOBA	35.760	36.700	-
CORUÑA, La	-	-	-
CUENCA	-	85.000	-
GERONA	-	-	-
GRANADA	-	12.700	74.200
GUADALAJARA	-	(4.200)	-
GUIPUZCOA	-	-	-
HUELVA	(1.260)	10.100	-
HUESCA	-	(2.300)	-
JAEN	10.680	(3.800)	-
LEON	-	-	-
LERIDA	-	(700)	-
LUGO	-	-	-
MADRID	-	(3.800)	-
MALAGA	-	13.800	80.200
MURCIA	(4.680)	-	-
NAVARRA	-	-	-
ORENSE	-	-	-
PALENCIA	-	-	-
PALMAS, Las	-	-	(1.200)
PONTEVEDRA	-	-	-
RIOJA	-	-	-
SALAMANCA	-	(8.100)	-
SANTANDER	-	-	-
SEGOVIA	-	(9.800)	-
SEVILLA	91.800	123.000	-
SORIA	-	-	-
TARRAGONA	-	-	-
TENERIFE	-	-	(2.100)
TERUEL	-	-	-
TOLEDO	-	18.000	-
VALENCIA	-	(1.500)	-
VALLADOLID	-	(7.000)	-
VIZCAYA	-	-	-
ZAMORA	-	10.000	-
ZARAGOZA	-	-	-
TOTAL	138.240	392.400	154.400

6.4.- GENERACION DE RESIDUOS GANADEROS Y DE DEPURACION DE AGUAS URBANAS

Se consideran aquí los residuos clasificados en el apartado 3.4, es decir, de animal vivo, de animal muerto y lodos orgánicos de depuración de aguas urbanas, siendo, desde el punto de vista cuantitativo, los de mayor importancia, los residuos de animal vivo junto con los lodos de depuradora, en cuanto al volumen generado. La paja y los diferentes residuos que aparecen con el estiércol, son separados antes del proceso de conversión energética en la etapa denominada de acondicionamiento, donde también se fijan las características del material a valorar energéticamente. La cabaña animal ha sido dividida según tipo de ganado en:

- 1.- Ganado bovino
- 2.- Ganado equino
- 3.- Ganado caprino
- 4.- Ganado porcino
- 5.- Ganado aviar
- 6.- Ganado ovino
- 7.- Conejos

Para la obtención de los datos de cantidad de residuo producido, se han tomado los datos del Anuario de Estadística Agraria, de los años 1974, 76, 78 y 80, en los cuales la cantidad generada ha sido deducida por el método denominado "peso vivo", aplicado por provincias a cada tipo de ganado. Estas cifras así obtenidas son las máximas alcanzables (generación potencial), es decir, suponiendo que todo el ganado se encuentra en régimen de estabulación. Debido a la necesidad de alcanzar la cantidad de residuo en años posteriores, ha sido necesario para la aplicación del método de previsión, el conocer el total genera

do por toda la cabaña ganadera, a partir de los datos históricos de generación.

Tabla 13.- Datos de la generación total de estiércol en España 1975-80

A Ñ O	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Prod. total (10 ³ x t/año)	60.844	62.312	60.213	60.660	60.718	61.057

Con los datos históricos y mediante regresión lineal, se calculan las previsiones de generación de años sucesivos para el total de estiércol generado.

Tabla 14.- Previsiones de generación total de estiércol en España 1981-2000.

A Ñ O	1981	1982	1985	1990	2000
Prod. total (10 ³ x t/año)	60.648	60.570	60.256	59.812	58.886

Una vez se dispone de los datos de previsión de generación, se puede calcular las previsiones de generación para cada tipo de residuo en concreto, según dos criterios diferentes, primero, la evolución en cuanto al tipo de ganado en concreto, y después teniendo en cuenta la influencia de la generación total de la cabaña. De esta forma es posible detectar cualquier variación, ya sea por el tipo de ganado en cuestión o por la influencia del resto. Los datos obtenidos se encuentran en la tabla 15 donde también se incluye el utilizable según los siguientes criterios:

1º) No se contabiliza el estiércol producido por el ganado ovi

no ni caprino, por estimarse que la mayoría se encuentran en régimen de pastoreo, aunque ha sido calculada su generación potencial.

- 2o) Se contabiliza el 50% de los residuos producidos por el ganado bovino.
- 3o) Del ganado porcino sólo se considera utilizable el 75% del estiércol producido.
- 4o) Respecto al ganado equino se estima que el 40% del estiércol generado puede ser utilizado.
- 5o) En lo referente a conejos y ganado aviar, dado su régimen de vida en estabulación cerrada, se estima que un 90% podría ser recogido con fines energéticos.

En el caso de los residuos ganaderos de animal muerto, producidos por el sacrificio de los animales, así como de sus consecuencias, se ha considerado que el residuo generado es sólo agua cargada orgánicamente y no restos sólidos, ya que éstos son recuperados en los diferentes mataderos y dedicados fundamentalmente a alimentación animal. Así, por ejemplo, un equipo simple y poco costoso permite recuperar casi la totalidad de la sangre y de las grasas, disminuyendo de esta forma el 80% de la polución primaria (7).

Todas las aguas, en el caso de mataderos de "ganado", se paradas en el proceso, son susceptibles de ser tratadas por biometanización con ánimo de rebajar su carga orgánica que suele oscilar de 2.500 a 3.000 ppm de DBO, sobre un caudal de unos 15 l/kg de canal.

En general, el vacuno es el ganado que genera mayor cantidad de residuo, ya que se necesita gran cantidad de agua en

su sacrificio. De todas formas, en la tabla 16 quedan expuestos los volúmenes de agua por tipo de ganado.

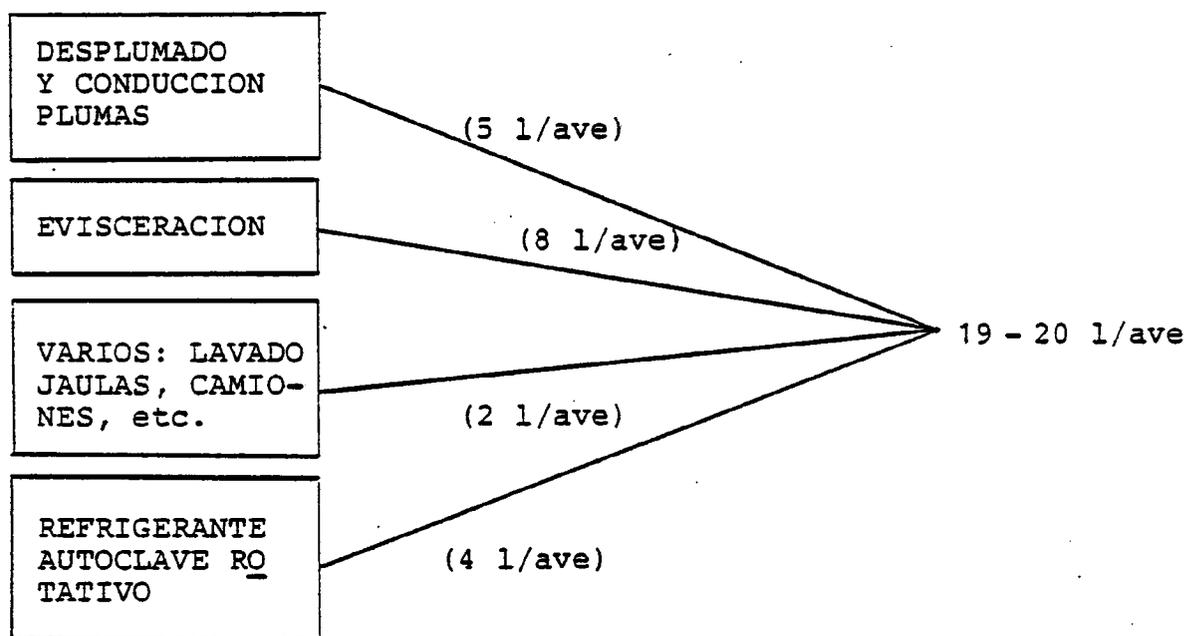
Tabla 15.- Previsión de generación potencial y utilizable de la cabaña ganadera para el periodo 1981-1985

TIPO DE GANADO	1981		1982		1985	
	G. POTENCIAL	G. UTILIZAB.	G. POTENCIAL	G. UTILIZAB.	G. POTENCIAL	G. UTILIZAB.
	(10 ³ x t/año)					
BOVINO	32.826	16.410	32.942	16.471	33.212	16.606
EQUINO	3.309	1.323	3.138	1.255	2.628	1.051
CAPRINO Y OVINO	8.536	-	8.090	-	6.739	-
PORCINO	11.810	8.858	11.968	8.976	12.444	9.333
AVIAR	3.753	3.378	3.995	3.596	4.720	4.248
CONEJOS	414	372	437	394	513	462
TOTAL	60.648	30.341	60.570	30.692	60.256	31.700

Tabla 16.- Volúmen de agua y carga orgánica de las aguas generadas en mataderos de "ganado".

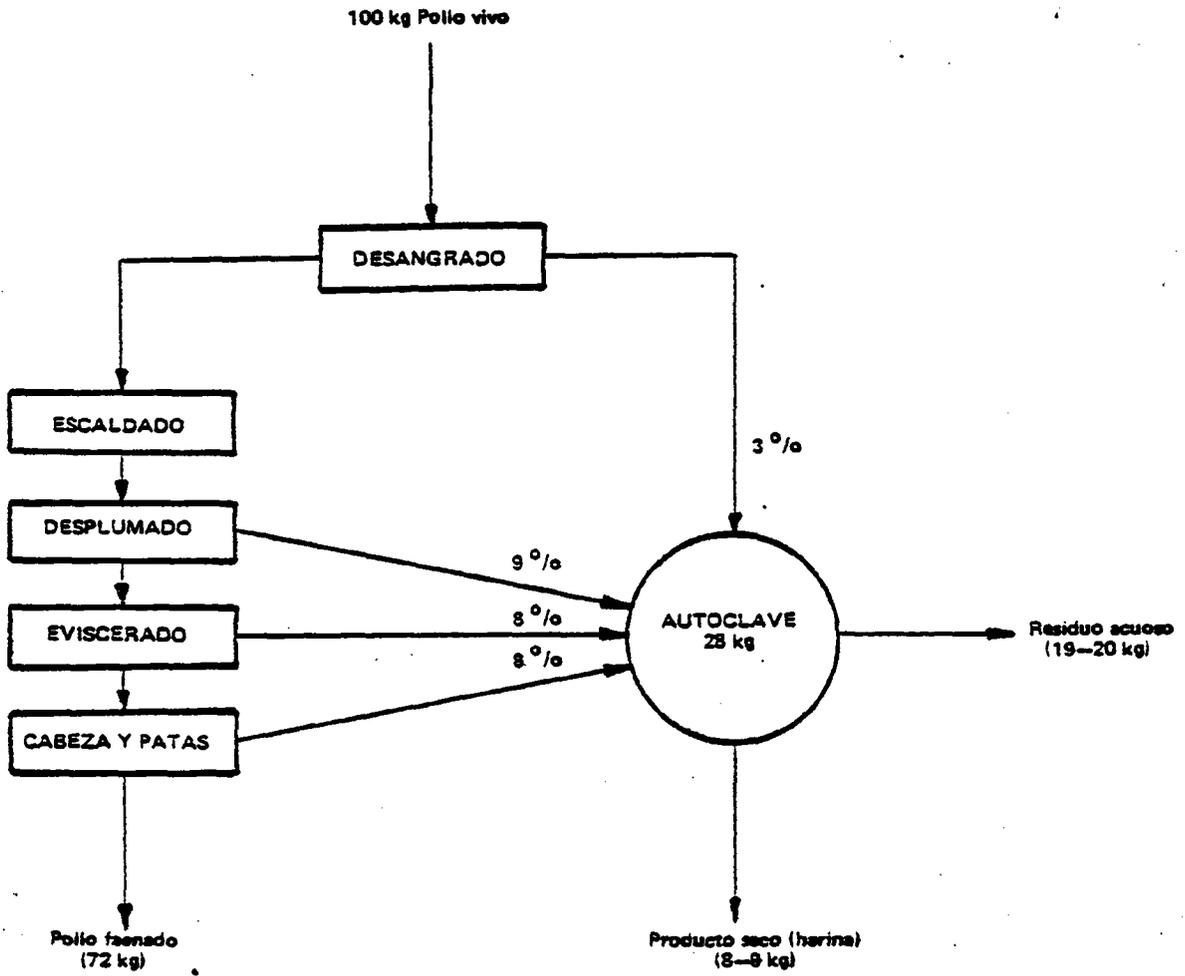
TIPO DE ANIMAL	PESO	VOLUMEN DE AGUA	DBO ₅
	(kg)	l/cabeza	mg/l
VACAS GRANDES	400 - 750	3.000 - 5.000	7.000 - 13.000
VACAS PEQUEÑAS	300 - 500	2.000 - 4.000	5.200 - 8.700
TERNEROS	75 - 300	600 - 900	1.200 - 2.000
CERDOS	100 - 130	600 - 700	670 - 800
CABRAS	50	300	400
OVEJAS	40 - 90	200 - 400	400 - 500

El uso de agua en los mataderos de aves, va aumentando , conforme aumenta el desarrollo tecnológico en este sentido, llegando en la actualidad a valores que rebasan los 20 litros por cabeza sacrificada, aunque se considera este valor (20 litros) como media de utilización. En países como Estados Unidos donde se matan unos 3×10^9 pollos al año se generan 95 millones de metros cúbicos de aguas residuales lo que se representa unos 31 - 32 litros por ave sacrificada. En España la generación de agua residual es prácticamente como indica el siguiente esquema (7):



Esquema 7. Generación de agua residual en un matadero de pollos

Según todo lo anterior, para gallinas con un peso comprendido entre 0,5 - 1,5 kg, la generación de agua residual cargada orgánicamente es de unos 16 litros por ave sacrificada (4 l de agua de refrigeración del autoclave) y con una carga orgánica media de 1.200 - 2.000 mg/l de DBO_5 .



ESQUEMA 8.- Esquema de elaboración de un matadero de pollos (°/o en peso). (8)

La cuantificación total de residuos de matadero se realiza en base a las aguas residuales generadas, como único residuo no aprovechable de los mataderos, en los años 1974, 76, 78 y 80, según indica la tabla 17 en la cual pueden observarse las siguientes características en la evolución:

1. Sólo son consideradas las aguas residuales procedentes de sacrificio bovino, porcino y aviar.
2. Se observa una débil generación de agua residual de porcino en el periodo 1974-1978, aumentando a partir de este año y disminuyendo consecuentemente la de ganado bovino.
3. A partir del año 1976 se aprecia cierta estabilidad en la generación de residuo procedente del ganado aviar.
4. La generación total tiene un aumento durante todo el periodo y es la que sirve de base para el cálculo aproximado del año 1982.

En lo que se refiere al año 1982, tomando los valores de años anteriores y mediante regresión lineal, se pueden obtener en primera instancia los valores de la generación total; obteniéndose una desviación de $r^2 = 0,921$, y una generación estimada de $23.868 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$.

Para conocer la distribución total en los diferentes tipos de ganado en el año 1982, se ha tomado la media de la distribución porcentual y se ha aplicado al total, obteniéndose una generación de:

Bovino: $8.483 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$,

Porcino: $7.397 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$, y

Aves: $8.132 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$.

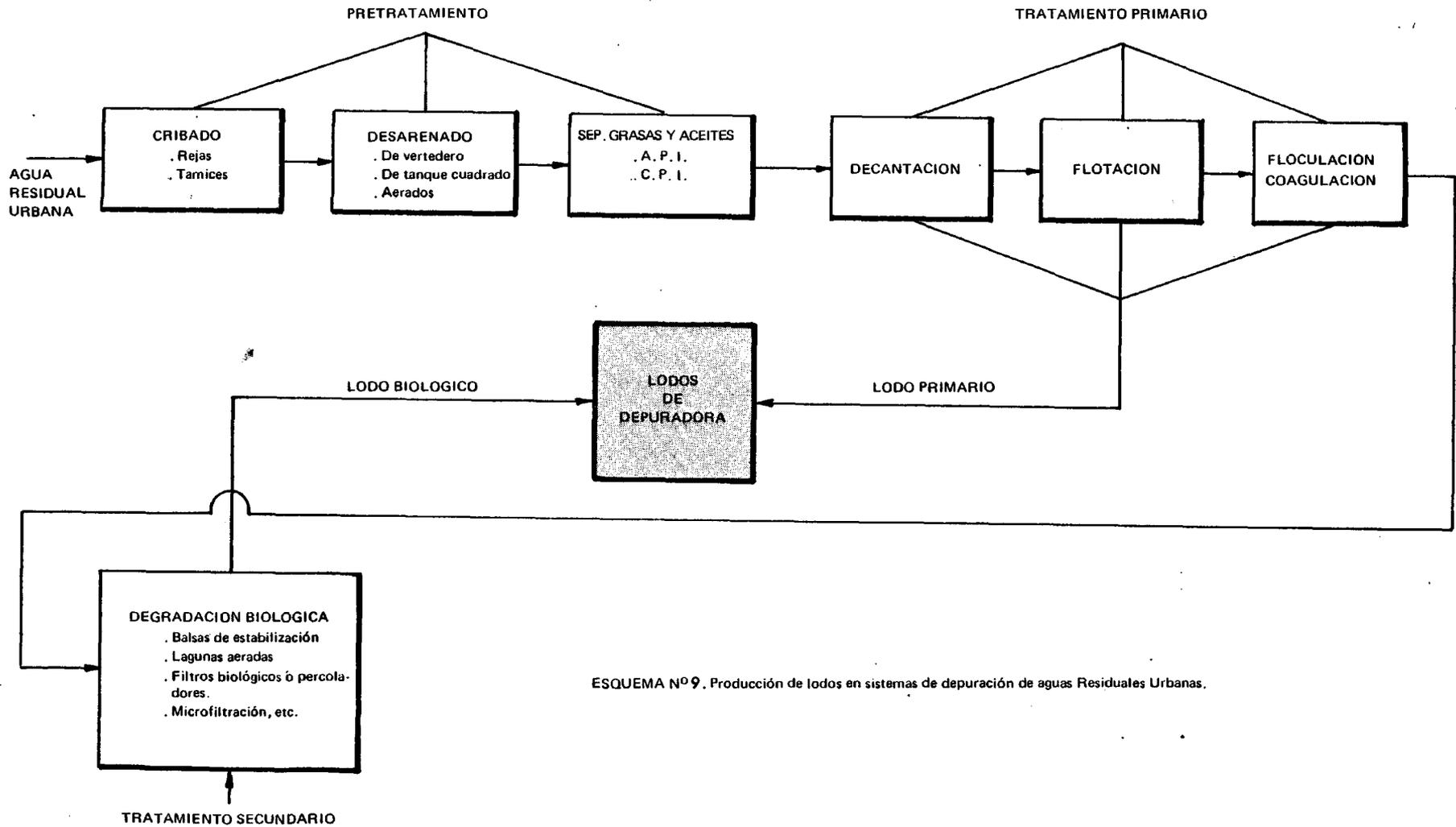
Tabla 17.- Evolución de la generación de aguas residuales de matadero en el periodo 1974-80.

AÑO	GANADO	S A C R I F I C I O S			VOLUMEN DE H ₂ O	
		MUNICIPIOS MUNICIPALES	FRIGORIFICOS	INDUSTRIALES	10 ³ m ³ /año	%
1974	Bovino	1.181.713	689.896	36.471	7.632	38,92
1974	Porcino	2.962.242	3.778.832	1.718.047	5.498	28,04
1974	Aviar	22.000.000	50.000.000	360.000.000	6.480	33,04
1974	TOTAL	26.143.955	54.468.728	361.754.518	19.610	100,00
1976	Bovino	1.117.327	695.682	32.507	7.382	37,36
1976	Porcino	2.340.627	4.235.792	1.135.404	5.013	25,37
1976	Aviar	21.418.600	44.890.500	424.537.500	7.363	37,27
1976	TOTAL	24.876.554	49.821.974	425.705.411	19.758	100,00
1978	Bovino	1.067.795	681.297	15.517	7.058	32,81
1978	Porcino	2.746.822	6.321.138	1.114.163	7.093	32,97
1978	Aviar	20.099.100	41.402.100	429.294.300	7.362	34,22
1978	TOTAL	23.913.717	48.404.535	430.423.980	21.513	100,00
1980	Bovino	1.118.722	767.557	7.102	7.574	33,05
1980	Porcino	2.826.766	8.401.393	1.177.643	8.064	35,19
1980	Aviar	19.035.400	45.557.200	420.685.600	7.279	31,76
1980	TOTAL	22.980.888	54.726.150	421.870.345	22.917	100,00

Los residuos de depuradoras son los producidos por el agua urbana después de sus procesos de depuración. Aparecen en forma de fangos y con una gran carga orgánica, por lo que son aprovechables por vía digestión metánica.

Como puede verse en el esquema 9 los fangos son producidos tanto en el tratamiento primario como en el secundario, apareciendo un lodo fresco procedente del primario (lodo primario) y un lodo biológico procedente del secundario. La utilización de estos lodos en digestión metánica puede realizarse independientemente o en conjunto, así los lodos primarios tienen en general un 5% de sólidos en su origen, mientras que los secundarios tienen que sufrir una etapa donde son separados y pueden alcanzar el 3%, teniendo aproximadamente el conjunto un valor en cuanto a sólidos cercano al 4% dando una idea en cuanto a similitud de unos fangos a otros.

Para el cálculo de la generación, se toman los datos de las plantas de más de 100.000 habitantes - equivalentes (9), para el año 1980 así como una previsión para 1985, interpolándose un valor intermedio que es el de trabajo (valor actual) (tabla 18).



ESQUEMA Nº 9. Producción de lodos en sistemas de depuración de aguas Residuales Urbanas.

Tabla 18.- Volumen de lodos generados en las plantas de aguas residuales en $10^3 \text{ m}^3/\text{año}$

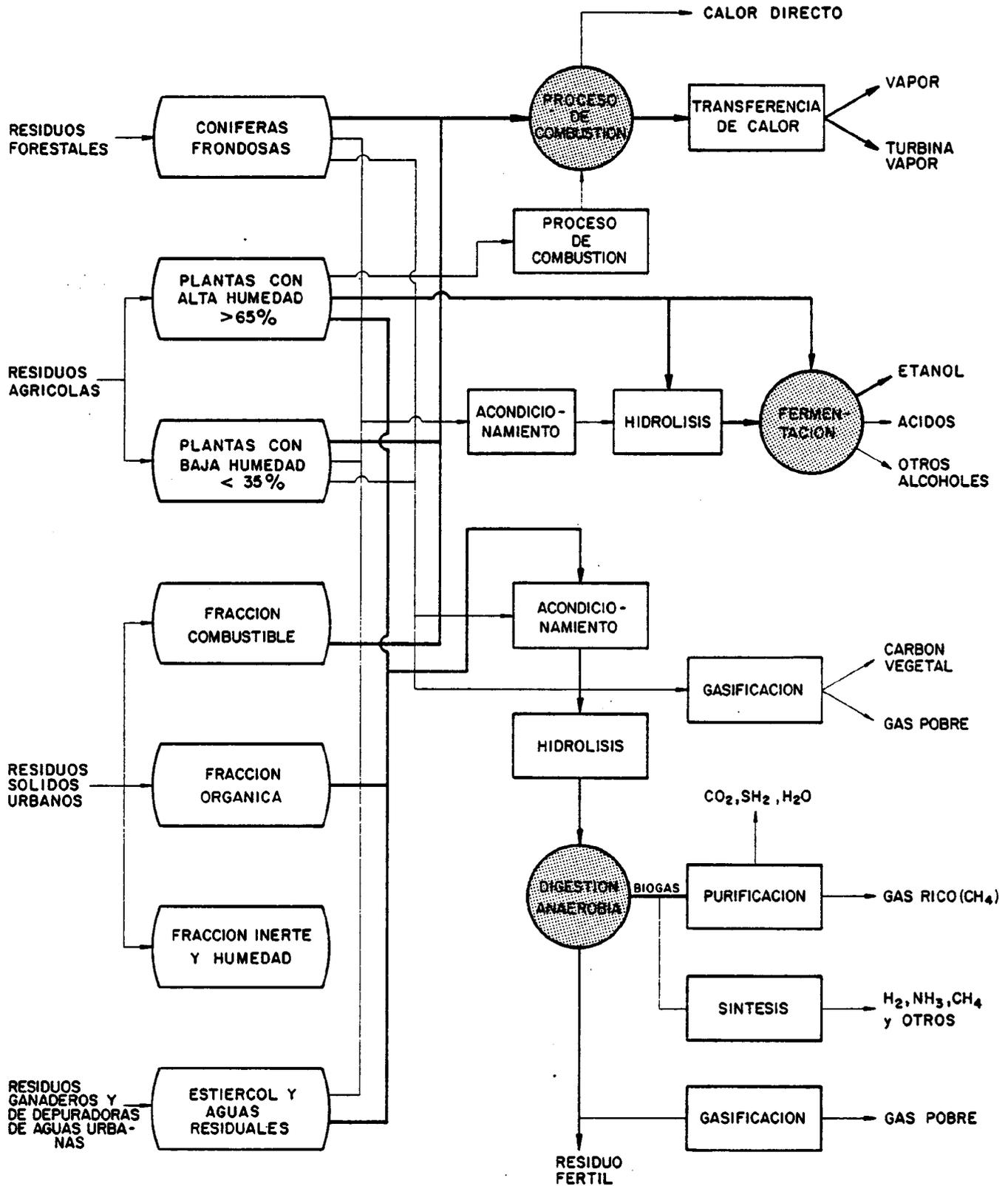
<u>PROVINCIA</u>	<u>1980</u>	<u>1985</u>	<u>VALOR ACTUAL</u>
Alava	332	332	332
Alicante	342	484	413
Almería	-	95	48
Baleares	40	40	40
Barcelona	982	2.704	1.843
Burgos	218	218	218
Córdoba	-	380	190
Coruña	95	95	95
Gerona	213	498	356
Gualadajara	-	114	57
Madrid	1.040	5.419	3.228
Málaga	-	380	190
Navarra	-	95	48
Oviedo	190	190	190
Palencia	95	95	95
Salamanca	95	95	95
Tenerife	190	190	190
Santander	-	285	143
Sevilla	95	95	95
Toledo	95	-	48
Valencia	333	333	333
Valladolid	-	475	238
Vizcaya	-	569	285
Zaragoza	-	522	261
TOTAL	4.335	13.468	9.031
=====			

7.- EVALUACION ENERGETICA DE LA BIOMASA
RESIDUAL EN ESPAÑA Y SU REPERCUSION
SOBRE LA ENERGIA CONSUMIDA

La necesidad de poseer la evaluación energética de la biomasa residual, surge del doble enfoque que debe darse al tratamiento de los residuos, por una parte posible aprovechamiento energético, ya sea directa o indirectamente, y, por otra, la necesidad de eliminación del mismo. Una vez queda marcado este objetivo (evaluar la biomasa), es necesario conocer una serie de antecedentes con los cuales llegar a una evaluación fiable, tal es el caso de la presentación de la alimentación (inertes, cenizas, humedad, etc), proceso necesario para un máximo aprovechamiento, según el producto deseado, cualidades energéticas del producto obtenido y, por último, su cuantificación.

Con los criterios necesarios para la valoración, es preciso también tener en cuenta una serie de factores limitantes, tales como el contenido en azufre (control de emisiones), humedad (mayor del 65% procesos bioquímicos, y menor del 65% procesos termoquímicos), etc.

La valoración, por tanto, se realiza sobre un proceso de transformación concreto (esquema 10), unas necesidades mínimas de operación y un tipo de residuo alimentado, realizándose ésta en cuanto al potencial generado y en cuanto al utilizable, considerando sólo poderes caloríficos o aproximándose más a la realidad teniendo en cuenta ciertos criterios de rendimientos de procesos.



Esquema 10.- PROCESOS DE APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE RESIDUOS

7.1.- EVALUACION ENERGETICA DE RESIDUOS FORESTALES

Según el esquema 10, la vía óptima de obtención de energía a partir de residuos forestales es la combustión completa o incineración de los mismos, mediante la cual se obtienen unos gases calientes de combustión y un residuo en el cual aparecen cenizas, escorias, inquemados, etc., necesitándose generalmente siempre un exceso de aire que depende tanto del nivel térmico de incineración como de las pérdidas en el sistema (tabla 19).

Tabla 19.- Exceso de aire (%) en el proceso de incineración de residuo forestal según el nivel de pérdidas y la temperatura del proceso

PERDIDAS	CONIFERAS			FRONDOSAS		
	900º C	1.000º C	1.100º C	900º C	1.000º C	1.100º C
10	192,00	144,00	117,20	169,20	136,90	110,45
11	187,90	140,80	114,25	165,60	133,70	107,60
12	183,80	137,60	111,30	162,00	130,10	104,70
13	179,70	137,35	108,40	158,50	127,30	101,80
14	175,60	131,10	105,50	154,90	124,00	98,90
15	171,50	127,90	102,60	151,30	120,90	96,00

Se han tomado unos poderes caloríficos medios para coníferas y frondosas de 5.085 y 4.708 Kcal/kg, respectivamente, lo

Tabla 20.- Valoración energética primaria de los residuos forestales en España.

PROVINCIA	CONIFERAS		FRONDOSAS		TOTAL	
	POTENCIAL tec/año.	UTILIZABLE tec/año	POTENCIAL tec/año	UTILIZABLE tec/año	POTENCIAL tec/año	UTILIZABLE tec/año
ALAVA	75.025	29.770	28.368	11.258	103.393	41.028
ALBACETE	222.566	39.083	8.583	1.508	231.149	40.591
ALICANTE	54.913	16.960	1.038	320	55.951	17.280
ALMERIA	43.203	11.539	6.515	1.739	49.718	13.278
ASTURIAS	74.788	32.495	315.443	137.059	390.231	169.554
AVILA	109.696	71.071	16.531	10.712	126.227	81.783
BADAJOZ	354.791	246.150	109.498	75.967	464.289	322.117
BALEARES	88.435	18.831	-	-	88.435	18.831
BARCELONA	254.685	30.507	51.760	6.200	306.445	36.707
BURGOS	176.862	32.957	84.356	15.719	261.218	48.676
CADERES	260.768	29.812	197.531	22.584	458.299	52.396
CADIZ	55.569	7.343	68.192	9.012	123.761	16.355
CASTELLON	106.465	44.230	2.012	836	108.477	45.066
C. REAL	148.792	52.918	67.853	24.131	216.645	77.049
CORDOBA	222.391	119.737	48.132	26.004	270.523	145.741
CORUNA	313.349	123.791	118.498	46.814	431.847	170.605
CUENCA	401.768	100.054	11.505	2.865	413.273	102.919
GERONA	178.295	22.052	88.887	10.994	267.182	33.046
GRANADA	64.771	11.445	106.611	18.838	171.382	30.283
GUADALAJARA	188.960	30.907	71.460	11.688	260.420	42.595
GUIPUZCOA	120.912	58.301	16.729	8.066	137.641	66.367
HUELVA	159.266	46.157	187.678	54.390	346.944	100.547
HUESCA	288.496	96.813	47.136	15.818	335.632	112.631
JAEN	223.321	131.675	20.448	12.057	243.769	143.732
LEON	34.185	5.015	211.796	31.073	245.981	36.088
LERIDA	286.841	51.009	43.233	7.688	330.074	58.697
LUGO	232.820	199.314	96.849	82.908	329.669	282.222
MADRID	88.160	15.630	40.205	7.128	128.365	22.758
MALAGA	77.251	13.325	21.366	3.685	98.617	17.010
MURCIA	105.283	84.013	-	-	105.283	84.013
NAVARRA	123.123	59.128	185.991	89.319	309.114	148.447
ORENSE	170.412	45.635	34.636	9.275	205.048	54.910
PALENCIA	13.090	12.408	81.123	76.884	94.213	89.292
PALMA L.	9.530	2.333	1.560	381	11.090	2.714
PONTEVEDRA	185.698	90.966	54.294	26.596	239.992	117.562
RIOJA	31.829	29.316	57.209	52.689	89.038	82.005
SALAMANCA	57.505	13.811	136.913	32.881	194.418	46.692
SANTANDER	80.986	55.901	152.230	105.082	233.216	160.983
SEVILLA	142.280	56.513	28.919	11.486	171.199	67.999
SEVILLA	55.920	4.140	120.806	8.943	176.726	13.083
SORIA	259.533	168.236	23.766	15.405	283.299	183.641
TARRAGONA	88.442	16.269	2.534	446	90.976	16.735
TENERIFE	42.159	24.673	23.928	14.001	66.087	38.674
TERUEL	291.004	59.968	14.180	2.922	305.184	62.890
TOLEDO	48.769	12.405	80.276	20.419	129.045	32.824
VALENCIA	193.817	93.060	1.814	870	195.631	93.930
VALLADOLID	84.775	20.849	12.776	3.142	97.551	23.991
VIZCAYA	179.401	98.353	8.745	4.793	188.146	103.146
ZAMORA	36.670	2.764	101.854	7.676	138.524	10.440
ZARAGOZA	117.268	14.049	51.089	6.121	168.357	20.170
T O T A L	7.224.838	2.653.681	3.262.856	1.146.412	10.487.694	3.800.093

cual corresponde, ya sea desde el punto de vista potencial o utilizable, a una cierta cantidad de energía (tabla 20).

Suponiendo que el consumo interior bruto de energía en España (procedente de combustibles convencionales) para el año 1982 sea otra vez de 104×10^6 tec/a (Anexo I), los residuos forestales representan en el balance total 10,08%, desde el punto de vista potencial, y un 3,65% desde el utilizable.

7.2.- EVALUACION ENERGETICA DE R.S.U.

El proceso de aprovechamiento energético de los R.S.U., tiene dos vías preferentes en cuanto a la alimentación se refiere, en primer lugar es posible alimentar a las unidades de transformación la totalidad del residuo y, en segundo lugar, después de una separación previa, alimentar sólo fracción combustible. De todas formas, en ambos casos antes de proceder a la evaluación energética, es preciso tener en consideración la gran humedad que presentan en ocasiones los R.S.U. y evaluar la energía necesaria para evaporar la humedad libre, obteniendo, mediante la diferencia, la energía real posible de recuperar en origen primario. En el apartado de cuantificación del residuo, se denominaba residuo potencial el generado por núcleos mayores de 5.000 hb, y residuo utilizable al generado por núcleos mayores de 100.000 hb. Se han tomado humedades del 41,5% en el primer caso y del 30% en el segundo, con lo cual se han necesitado diferentes cantidades de energía para evaporar la humedad libre del residuo (calor de vaporización del agua $r_w = 540 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}$).

En lo siguiente, se ha tomado la composición del R.S.U. medio en España como:

Tabla 21.- Composición media del R.S.U. en España (Base seca)

	(%) peso	C(%)	(H ₂ (%))	O ₂ (%)	N ₂ (%)	S(%)	inertes(%)	cenizas(%)	PCI (kcal/kg)
Papel	18,20	44,00	6,15	41,66	0,42	0,12	7,65	-	(4.330)
Cartón	2,30	45,52	6,08	44,53	0,16	0,14	3,57	-	(4.330)
M. org.	43,90	51,03	6,88	39,06	1,75	0,21	1,07	-	(1.000)
Cuero	0,50	42,73	5,41	23,23	6,08	1,02	21,53	-	(4.030)
Plásticos	4,90	78,00	9,00	13,00	-	-	-	-	(8.850)
Madera	1,50	49,36	6,04	42,35	-	-	2,30	-	(3.400)
Textiles	2,20	46,19	6,41	41,85	2,18	0,20	3,17	-	(4.470)
Vidrio	3,10	-	-	-	-	-	100,00	-	-
Env. met.	2,60	4,54	0,63	4,28	0,05	0,01	90,49	-	-
Inertes cenizas e inertes quemados.	20,80	-	-	-	-	-	100	-	-

Según el anexo II y con la composición media del R.S.U., se obtiene el poder calorífico del residuo a partir de su composición, obteniéndose: (Base seca)

$$PCS_{(RSU)} = 1.929,80 \text{ kcal/kg}$$

De tal forma que en los casos en los que se consideren núcleos mayores de 5.000 hb y, por tanto humedades medias del 41,5%, hay que considerar un poder calorífico de 1.376,45 kcal/kg y cuando los núcleos sean mayores de 100.000 habitantes con humedades medias del 30%, se quedará en 1.438,77 kcal/kg. Con la generación del residuo de las tablas 5 y 6 y lo anteriormente mencionado, se puede llegar a la confección de la tabla 22 y, por tanto a un aporte potencial de 1.702.468 tec/año y uno utilizable de 1.019.837 tec/año.

Tabla 22.- Valoración energética primaria de los R.S.U. en España

	GENERACION POTENCIAL		GENERACION UTILIZABLE	
	tec/año	10 ³ tec/hb/a	tec/año	10 ³ tec/hb/a
ALAVA	12.102	54,42	11.383	59,05
ALBACETE	11.000	50,25	6.916	59,05
ALICANTE	58.309	56,35	26.292	63,47
ALMERIA	15.685	55,67	9.349	66,33
ASTURIAS	53.575	51,72	28.205	63,23
AVILA	2.766	46,01	-	-
BADAJCZ	19.073	47,19	6.753	59,05
BALEARES	40.888	68,31	22.409	73,61
BARCELONA	250.126	57,76	177.067	68,05
BURGOS	12.246	53,00	9.238	59,05
CADERES	8.437	44,97	-	-
CADIZ	52.206	53,74	20.871	62,49
CASTELLON	16.037	51,04	7.468	59,05
C. REAL	16.361	44,42	-	-
CORDOBA	29.625	48,76	16.814	59,05
CORUNA	52.206	53,34	17.104	73,61
CUENCA	3.385	45,03	-	-
GERONA	16.109	55,26	-	-
GRANADA	26.929	50,48	15.482	59,05
GUADALAJARA	3.375	46,68	-	-
GUIPUZCOA	31.348	49,77	11.646	66,33
HUELVA	16.716	54,75	9.408	73,61
HUESCA	5.072	43,69	-	-
JAEN	21.812	44,77	-	-
LEON	13.717	49,26	7.743	59,05
LERIDA	9.007	49,88	6.470	59,05
LUGO	11.504	43,87	-	-
MADRID	283.290	62,20	268.654	68,68
MALAGA	54.561	61,52	33.381	66,33
MURCIA	51.668	55,19	28.502	61,78
NAVARRA	15.274	50,44	10.814	59,05
ORENSE	9.554	44,17	-	-
PALENCIA	4.502	46,57	-	-
PALMA L.	46.392	64,27	21.639	59,05
PONTEVEDRA(*)	43.058	50,84	17.161	66,33
RIOJA	8.571	50,59	6.553	59,05
SALAMANCA	10.863	53,00	9.869	59,05
SANTANDER	19.805	54,29	11.961	66,33
SEVIGIA	2.937	47,22	-	-
SEVILLA	66.441	49,96	38.608	59,05
SORIA	1.778	47,17	-	-
TARRAGONA	18.728	52,51	7.408	66,33
TENERIFE	29.947	49,49	17.917	59,05
TERUEL	2.172	45,22	-	-
TOLEDO	10.317	44,80	-	-
VALENCIA	97.282	54,62	49.863	66,33
VALLADOLID	20.356	53,82	19.501	59,05
VIZCAYA	55.330	50,70	32.504	59,05
ZAMORA	3.794	46,25	-	-
ZARAGOZA	36.232	53,92	34.884	59,05
T O T A L	1.702.468	-	1.019.837	-

(*) Vigo

El aprovechamiento energético de los R.S.U. repercute sobre el C.I.B. de energía (Anexo I) en 1,64%, desde el punto de vista potencial; y un 0,98%, desde el punto de vista utilizable.

7.3.- EVALUACION ENERGETICA DE RESIDUOS AGRICOLAS

Según el esquema 10, hay tres vías fundamentales de aprovechamiento energético de la biomasa agrícola: la combustión directa del residuo, la fermentación via etanol y la digestión anaerobia. La elección de uno u otro camino en la conversión depende principalmente de la humedad del residuo, de tal forma que cuando esta es mayor del 65% son aconsejados los dos mecanismos bioquímicos, pero cuando el residuo puede ser considerado relativamente seco (como ocurre generalmente), el mecanismo es la combustión completa o incineración.

Se han utilizado las cifras de generación deducidas en apartados anteriores, en las cuales no ha sido deducida la fracción humedad del residuo, por lo que el peso de materia seca en cada caso es realmente algo inferior, habiéndose tenido en cuenta esta consideración en el momento de aplicación de los poderes caloríficos para la evaluación energética del residuo.

7.3.1.- Evaluación energética del residuo de cultivos leñosos y frutales en España

Se ha considerado que por término medio el residuo de este tipo de cultivo puede generar 4.300 kcal por cada kilogramo de residuo húmedo.

En lo que concierne a la generación potencial de este tipo de residuo (3.412.127 t/año), representa una cantidad de energía de 2.199.721 tec/año. Para el cálculo de la evaluación de la energía utilizable se han tomado los valores de la gene-

Tabla 23.- Evaluación energética primaria "potencial" y "utilizable" del residuo de cultivos leñosos y frutales en España

PROVINCIA	VALORACION TOTAL POTENCIAL (tec/año)	VALORACION UTILIZABLE (tec/año)							VALORACION TOTAL UTILIZABLE (tec/año)
		NARANJO	LIMONERO	PERAL	OLIVAR	MANZANO	ALHENDRO	VIÑEDO	
Alava	1.934	-	-	-	-	-	-	-	-
Albacete	51.059	-	-	-	6.498	-	-	27.695	34.193
Alicante	68.207	7.607	-	-	8.303	-	26.045	13.100	55.055
Almería	29.945	-	-	-	-	-	18.825	-	18.825
Asturias	2.579	-	-	-	-	-	-	-	-
Avila	6.708	-	-	-	-	-	-	-	-
Badajoz	207.264	-	-	-	127.079	-	-	10.257	145.336
Baleares	37.778	-	-	-	-	-	36.037	-	36.037
Barcelona	13.091	-	-	-	-	-	-	6.447	6.447
Burgos	4.964	-	-	-	-	-	-	-	-
Cáceres	88.966	-	-	-	60.110	-	-	-	60.110
Cádiz	14.897	-	-	-	6.638	-	-	-	6.638
Castellón	50.091	13.345	-	-	9.025	-	19.309	-	40.679
Ciudad Real	128.871	-	-	-	40.209	-	-	55.906	96.115
Córdoba	206.221	-	-	-	137.992	-	-	-	137.992
Coruña, La	838	-	-	-	-	-	-	-	-
Cuenca	52.696	-	-	-	14.323	-	-	22.332	36.655
Gerona	5.248	-	-	-	-	-	-	-	-
Granada	86.273	-	-	-	43.153	-	21.016	-	64.169
Guadalajara	16.790	-	-	-	10.625	-	-	-	10.625
Guipúzcoa	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huelva	32.614	-	-	-	15.203	-	-	-	15.203
Huesca	19.375	-	-	-	-	-	6.447	-	6.447
Jáen	410.006	-	-	-	284.296	-	-	-	284.296
León	11.153	-	-	-	-	-	-	0.355	0.355
Lérida	51.459	-	-	-	19.099	-	14.118	-	33.217
Lugo	1.096	-	-	-	-	-	-	-	-
Madrid	21.981	-	-	-	8.031	-	-	7.839	15.870
Málaga	63.926	-	-	-	31.977	-	10.702	-	42.679
Murcia	56.545	-	-	-	-	-	25.052	15.409	39.261
Navarra	11.732	-	-	-	-	-	-	6.447	6.447
Orense	4.513	-	-	-	-	-	-	-	-
Palencia	1.254	-	-	-	-	-	-	-	-
Palmas, Las	1.418	-	-	-	-	-	-	-	-
Pontevedra	2.579	-	-	-	-	-	-	-	-
Rioja	14.458	-	-	-	-	-	-	10.640	10.640
Salamanca	12.146	-	-	-	-	-	-	-	-
Santander	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Segovia	1.289	-	-	-	-	-	-	-	-
Sevilla	69.431	-	-	-	43.863	-	-	-	43.863
Soria	580	-	-	-	-	-	-	-	-
Tarragona	61.567	-	-	-	22.564	-	11.346	13.306	47.216
Tenerife	2.127	-	-	-	-	-	-	-	-
Teruel	25.528	-	-	-	10.153	-	-	-	10.153
Toledo	90.642	-	-	-	34.116	-	-	32.956	67.072
Valencia	96.766	44.676	-	-	9.206	-	8.510	22.693	85.085
Valladolid	5.802	-	-	-	-	-	-	-	-
Vizcaya	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zamora	10.766	-	-	-	-	-	-	7.220	7.220
Zaragoza	44.449	-	-	-	-	-	9.025	18.464	27.489
TOTAL	2.199.721	65.628	0	0	942.463	0	206.232	285.066	1.499.189
R(%)	2,12	0,06	0	0	0,91	0	0,20	0,27	1,44

Tabla 24.- Evaluación energética primaria, "potencial" y "utilizable" del residuo de cultivos de cereales de grano en España

PROVINCIA	VALORACION TOTAL POTENCIAL (tec/año)	VALORACION UTILIZABLE (tec/año)								VALORACION TOTAL UTILIZABLE (tec/año)
		TRIGO	MAIZ	ARROZ	AVENA	SORGO	CEBADA	ALPISTE	CENTENO	
Alava	84.026	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Albacete	384.025	43.291	12.090	-	-	-	-	-	12.489	67.870
Alicante	37.618	-	10.411	-	-	-	-	-	-	10.411
Almería	33.745	-	-	-	-	-	13.775	-	-	13.775
Asturias	68.552	-	26.237	-	-	-	-	-	-	26.237
Avila	78.150	13.853	-	-	-	-	29.642	-	-	43.495
Badajoz	394.436	78.928	34.486	13.876	39.964	5.552	76.513	-	-	249.319
Baleares	40.868	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Barcelona	107.972	-	6.954	-	-	-	-	-	-	6.954
Burgos	455.939	127.829	-	-	12.810	-	173.852	-	-	314.491
Cáceres	293.312	27.394	79.298	-	14.451	-	14.877	-	-	136.020
Cádiz	141.718	61.474	-	-	-	14.222	14.142	-	-	89.838
Castellón	29.373	-	7.055	-	-	-	-	-	-	7.055
Ciudad Real	299.591	58.045	14.903	-	17.841	-	105.126	-	-	195.915
Córdoba	287.964	125.162	28.924	-	6.459	-	17.889	-	-	178.434
Coruña, La	273.147	-	97.580	-	-	-	-	-	7.315	104.895
Cuenca	238.043	76.919	-	-	-	-	81.655	-	-	158.574
Gerona	71.609	-	12.951	-	-	5.229	6.559	-	-	26.739
Granada	231.171	28.573	27.391	-	-	-	-	-	-	55.964
Guadalajara	198.154	55.828	-	-	9.027	-	65.640	-	7.208	137.703
Guipuzcoa	4.723	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huelva	30.798	11.360	-	-	-	-	-	-	-	11.360
Huesca	467.639	82.079	41.265	-	-	8.739	163.639	-	-	295.722
Jaen	149.121	37.438	15.700	-	-	-	32.324	-	-	85.462
León	187.139	-	8.018	-	-	-	-	-	-	8.018
Lérida	608.229	73.699	103.310	-	-	37.711	137.193	-	-	351.913
Lugo	136.891	-	27.034	-	-	-	-	-	35.576	62.610
Madrid	168.088	45.403	19.373	-	-	-	29.864	-	-	94.640
Málaga	54.336	11.498	5.499	-	-	7.409	9.918	-	-	34.324
Murcia	134.336	-	11.460	-	-	-	57.154	-	-	68.614
Navarra	312.838	-	47.793	-	-	-	-	-	-	47.793
Orense	89.904	-	17.631	-	-	-	-	-	30.937	46.568
Palencia	304.255	67.915	-	-	11.882	-	119.195	-	13.988	212.980
Palmas, Las	1.355	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pontevedra	360.193	-	125.832	-	-	-	-	-	6.673	132.505
Rioja	131.139	21.957	-	-	-	-	57.154	-	-	79.111
Salamanca	212.645	57.006	16.036	-	9.241	-	43.123	-	11.418	136.824
Santander	36.661	-	13.622	-	-	-	-	-	-	13.622
Segovia	164.376	21.126	-	-	9.241	-	79.451	-	5.246	115.064
Sevilla	499.679	135.760	60.555	69.888	8.600	27.526	44.372	-	-	346.701
Soria	257.415	83.880	-	-	17.306	-	72.876	-	-	174.062
Tarragona	107.366	-	7.052	40.657	-	-	-	-	-	47.709
Tenerife	6.612	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teruel	195.186	41.768	7.262	-	5.781	-	70.414	-	5.352	130.577
Toledo	399.858	66.391	11.733	-	13.952	-	173.852	-	-	265.928
Valencia	189.325	-	32.933	54.334	-	-	9.918	-	-	97.185
Valladolid	448.039	58.321	6.465	-	6.637	-	233.466	-	-	304.889
Vizcaya	77.729	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zamora	313.397	111.933	8.753	-	-	-	78.568	-	10.777	210.031
Zaragoza	837.579	125.162	169.028	-	-	-	165.441	-	-	459.631
TOTAL	10.636.264	1.749.992	1.114.634	178.755	183.192	106.388	2.179.592	0	146.979	5.659.532
R (%)	10,23	1,68	1,07	0,17	0,18	0,10	2,10	0	0,14	5,44

La generación potencial corresponde a una valoración energética de 10.636.264 tec/año. De todas formas, la generación potencial no es toda aprovechable y ésto es debido no sólo a la imposibilidad de una perfecta recolección, sino también a que este tipo de residuo tiene otras vías de aprovechamiento actualmente como son el ganado, las plantas papeleras, etc. (los primeros siguen utilizándolo y los últimos cada vez menos). Todos estos factores han sido evaluados llegándose a una valoración energética del utilizable de 5.659.532 tec/año, lo cual representa una contribución del 5,44% (potencialmente un 10,23%).

7.3.3.- Evaluación energética del residuo de cultivos industriales agrícolas

Debido a la gran cantidad de tipos de este residuo y a la débil generación en la mayoría de los casos, han sido evaluados los tres más importantes: residuo de algodón, residuo de girasol y residuo de caña de azúcar, generando potencialmente 869.400 t/a, y pudiendo aprovechar 685.040 t/a.

Desde el punto de vista energético el residuo de algodón puede generar en su combustión 3.300 kcal/kg, mientras que el residuo de girasol (conjunto caña-torta) asciende a 3.500 kcal/kg y el de caña de azúcar se queda en unas 2.000 kcal/kg. Así potencialmente la aportación de energía puede ascender a:

- Residuo de algodón	134.276	tec/año
- " " girasol	229.678	"
- " " caña de azúcar ..	48.066	"
	<hr/>	
TOTAL	412.020	tec/año

Representando una repercusión del 0,40%, que hace que este tipo de residuos sea uno de los menos importantes desde el punto de vista energético y siendo muy importante en la toma de decisiones para su aprovechamiento energético el factor "eliminación del residuo".

Si la repercusión potencial es pequeña, lo es aún más la referida al residuo utilizable, descontabilizándose además las generaciones que no sobrepasan las 10.000 t/a. En la tabla 25 quedan representadas por provincias las evaluaciones energéticas, alcanzando una evaluación total de 320.595 tec/año, lo que representa una repercusión del 0,31%.

Tabla 25.- Evaluación energética primaria en el caso utilizable del residuo de cultivos industriales de origen agrícola.

PROVINCIA	R. ALGODON tec/año	R. GIRASOL tec/año	R.C. AZUCAR tec/año	TOTAL tec/año
ALBACETE	-	16.214	-	16.214
BADAJOS	-	6.349	-	6.349
CADIZ	-	15.795	-	15.795
CIUDAD REAL	-	5.247	-	5.247
CORDOBA	17.692	19.258	-	36.950
CUENCA	-	44.602	-	44.602
GRANADA	-	6.664	22.249	28.913
HUELVA	-	5.300	-	5.300
JAEN	5.283	-	-	5.283
MALAGA	-	7.241	24.048	31.289
SEVILLA	45.418	64.543	-	109.961
TOLEDO	-	9.445	-	9.445
ZAMORA	-	5.247	-	5.247
TOTAL	68.393	205.905	46.297	320.595
R(%)	0,07	0,20	0,04	0,31

7.4.- EVALUACION ENERGETICA DE RESIDUOS GANADEROS Y DE DEPURACION DE AGUAS URBANAS

Los residuos biodegradables que, desde el punto de vista del aprovechamiento energético pueden ser tratados por digestión anaerobia, pueden ser evaluados atendiendo a la siguiente clasificación: residuos ganaderos de animal vivo (estiércoles, camas, aguas de limpieza, etc.), residuos ganaderos de animal muerto (residuos de matadero) y, por último, los no ganaderos susceptibles de ser digeridos fácilmente.

7.4.1.- Residuos ganaderos de animal vivo

Este tipo de residuo, junto con los lodos de depuradora, en cuanto a volumen generado, es el de mayor importancia, apareciendo junto con él otros tipos de residuos tales como pajas, aguas de lavado, etc., los cuales serán separados antes de llegar a la unidad de valoración energética, pudiendo ser aprovechados en el campo. En el caso de que se necesite agua en el proceso, es posible la utilización de aguas de lavado cargadas con contenido orgánico biodegradable. En relación con todo lo anterior aparecen tres factores de extrema importancia en la valoración energética, tales como el contenido en sólidos totales de la materia prima a digerir, su carga orgánica y el tiempo en el cual se pretende llevar a cabo el proceso. Estos tres factores no tendrían tal importancia si previamente no fueran prefijadas las condiciones del proceso de digestión, es decir, tipo de reactor, fase de trabajo, etc.

Se ha tomado en la valoración energética primaria como si el residuo fuera el biogas formado, ya que el estiércol, en principio, no goza de unas posibilidades energéticas definidas como el resto de los residuos, teniéndose en cuenta los rendimientos energéticos del proceso (calorifugado de reactores, bombeo de materiales, etc.), al igual que los porcentajes en meta

no obtenidos en cada caso.

7.4.1.1.- Evaluación energética del residuo de ganado bovino

Se ha tomado una generación media de sólidos totales en el estiércol del 18%, siendo necesaria su dilución a concentraciones óptimas del 6% mediante la adición de agua. Se considera un régimen de digestión mesofílico a 37°C, con un tiempo de residencia de 15 a 20 días, obteniéndose una producción de gas de 215 litros de biogas por cada kilogramo de sólidos totales añadidos, con un 62% de metano en el biogas un rendimiento energético del proceso del 70%, quedando su evaluación energética en el caso potencial en 1.007.270 tec/año (100%), lo que representa un 0,97% de repercusión y, en el caso del utilizable en el año 1982:

$10^3 \times t$ ST	$10^3 \times m^3$ biogas	$10^3 \times m^3$ CH ₄	tec(100%)	tec (70%)
2.964,78	637.427,70	395.205,17	503.635	352.544

De esta forma la recuperación de 503.635 tec/año representa una repercusión del utilizable del 0,48%, siendo las zonas de mayor generación La Coruña, Lugo, Orense, Pontevedra, Asturias, Santander, Zamora, León, y la de 352.544 tec/a representa un 0,34%.

7.4.1.2.- Evaluación energética del residuo de ganado equino

En este caso y trabajando en condiciones óptimas de operación, se puede llegar a producciones próximas a los 390 litros de biogas por kilogramo de sólido total alimentado, aunque ahora sólo con una producción de metano del 58% en el biogas.

Inicialmente ha sido considerada una concentración media en sólidos totales en el estiércol del 16%, aconsejándose su dilución a valores próximos al 10% en la etapa de acondicionamiento del residuo.

Desde el punto de vista potencial, con una generación de 3.138.000 t/a, pueden obtenerse 144.730 tec/año (100%), lo que representa un 0,14% de repercusión.

En el caso de residuo utilizable y con las premisas anteriormente mencionadas, puede llegarse a la siguiente cuantificación energética en el año 1982 de:

$t^3 \times t \text{ ST}$	$10^3 \times m^3 \text{ biogas}$	$10^3 \times m^3 \text{ CH}_4$	tec (100%)	tec (70%)
200,80	78.312,00	45,420,96	57.883	40.518

lo que representa un 0,06 y 0,04% de repercusión, siendo las zonas de mayor generación, por una parte Extremadura y, por otra, Galicia, Asturias, Santander y León.

7.4.1.3.- Evaluación energética del residuo de ganado caprino y ovino

Los residuos de ganado caprino y ovino deben ser contabilizados en ningún tipo de valoración energética de esta índole, debido a la frecuencia con que tienen su régimen de pastoreo, siendo, por tanto, nula su valoración al igual que su repercusión.

7.4.1.4.- Evaluación energética del residuo de ganado porcino

En la evaluación energética del residuo de ganado porcino no tiene especial importancia por su generación la zona compuesta por Barcelona, Lerida, Gerona, Huesca, Zaragoza y Tarragona, las cuales generan algo más del 40% del total de este residuo a nivel nacional (3.723.000 t/a -1980-).

Se ha considerado un estiércol tipo con un 16% en sólidos totales, el cual en la prefase de acondicionamiento se lleva a un 6% por diversos motivos y en beneficio de la producción de gas.

El sistema de valoración se supone funciona en el rango mesofílico y a temperaturas próximas a los 37°C, con un tiempo de residencia de unos 28 días. Con todas las hipótesis anteriormente tomadas es posible alcanzar una producción de gas de 260 litros por kilogramo de sólidos totales tratados y teniendo en este caso un porcentaje en metano del 69%.

Desde el ámbito potencial la generación representa 292 mil tec/año, lo que equivale a un 0,28% de repercusión, suponiendo siempre rendimientos térmicos del proceso del 100% y en el caso de que se tenga en cuenta la generación utilizable se llega a:

$10^3 \times t \text{ ST}$	$10^3 \times m^3 \text{ biogas}$	$10^3 \times m^3 \text{ CH}_4$	tec (100%)	tec (70%)
1.436,16	373.401,60	257.647,10	219.000	153.300

que representa una repercusión del 0,28 y el 0,15%.

7.4.1.5.- Evaluación energética del residuo de ganado
aviar

Tomando la línea de actuación de casos anteriores, con la cual se toman condiciones óptimas en cuanto a la producción de gas, rendimiento energético, etc., se llega a la deducción de los parámetros que definen este tipo de digestión. De esta forma se suelen utilizar tiempos de residencia de unos 20 días con temperaturas mesofílicas de 37°C y rebajando en lo posible la concentración de sólidos totales con objeto de aumentar la producción de biogas.

Tabla 26.- Producción de biogas en función del contenido en sólidos totales para el ganado aviar.

% ST	4	4,5	6	6,5	12,5	15
<u>Lit bg</u>	480-700	460	380	350	300	290
kg ST						

Por término medio el contenido en sólidos totales del estiércol es del 25%, necesitándose añadir agua, según se quiera digerir con una cantidad de sólidos totales u otra. Se ha tomado una concentración en sólidos totales del 6%, con la cual se alcanzan concentraciones de metano del 67%.

Desde este punto de vista potencial, con una generación de 3.995.000 t/a puede llegarse a una valoración energética de 216.140 tec/año y una repercusión del 0,21% con un rendimiento de digestión del 100%.

En el caso del residuo utilizable con una generación de 3.596.000 t/a y una producción de metano de $228.885,40 \times 10^3 \text{ m}^3$ /año, se llegan a producir 194.553 tec/año (100%) con una reper-

cusión aproximadamente del 0,19%, o bien 0,13 en el caso de que se considere el 70% de rendimiento.

$10^3 \times t \text{ ST}$	$10^3 \times m^3 \text{ biogás}$	$10^3 \times m^3 \text{ CH}_4$	tec (100%)	tec (70%)
899,00	341.620,00	288.885,4	194.553	136.187

7.4.1.6.- Evaluación energética del residuo de conejos

Para afrontar con cierta veracidad la evaluación energética de este tipo de residuo, es necesario conocer que su generación es minoritaria desde dos puntos de vista, en primer lugar la débil generación uniprovincial y, en segundo lugar, la gran distribución o dispersión del residuo en el territorio nacional, ámbito de este estudio.

Tomando las condiciones oportunas sobre las condiciones de operación respecto a las cuales varía la producción de biogás y tomando aquellas que sean óptimas y, más corrientemente, utilizadas, se llega a determinar las premisas mediante las cuales se evalúa energéticamente el residuo.

En origen se ha tomado que el estiércol de conejo tiene una concentración media en sólidos totales del 28%, produciéndose 346 litros de biogás por cada kilogramo de sólidos totales alimentado y con un 60% de metano. De esta forma, potencialmente, se llega a 32.336 tec/año (100%), lo que representa un 0,03 de repercusión y con las 394.000 t/a generadas de utilizable a 29.154 tec/año, o bien 20.407,91 considerando un 70% de rendimiento (0,03 y 0,02% respectivamente).

10^3 t x ST	10^3 x m ³ biogas	10^3 x m ³ CH ₄	tec (100%)	tec (70%)
110,20	38.129,06	22.877,44	29.154,15	20.407,91

7.4.2.- Evaluación energética de residuos de matadero

Se denominan así los residuos originados por la acción de sacrificio del animal, así como de sus consecuencias. De esta forma, potencialmente estos residuos podrán diferenciarse como los estrictamente procedentes del animal y los que no proceden realmente de él, pero intervienen en su sacrificio (aguas residuales).

La rentabilidad de este tipo de industrias viene condicionada al grado de aprovechamiento que la misma hace sobre sus residuos y, siendo además, porcentualmente mucho mayor la cantidad generada en mataderos pequeños que en mataderos grandes, llegándose en estos últimos a niveles de contaminación realmente pequeños y procedentes de las aguas residuales utilizadas en el proceso de sacrificio.

Debido a que en mataderos pequeños el residuo producido sería difícil de recolectar y, además, porque la utilización del residuo no puede ser total, se considera en este estudio que todo el ganado sacrificado lo hace en mataderos grandes y que el residuo generado es sólo agua cargada orgánicamente, con lo que los dos errores cometidos en las hipótesis son contrastados y los valores obtenidos son, desde el punto de vista cuantitativo, ciertamente reales.

En lo sucesivo, debido a su gran disparidad, se hace la matización de diferenciar entre:

- Mataderos de ganado: de una, dos o tres líneas (bovino, porcino, ovino).
- Mataderos de aves.

En el aprovechamiento de los residuos en mataderos de ganado, existen dos posibles vías de aplicación, una primera vía de aprovechamiento no energético de residuos y una segunda vía de aprovechamiento energético del agua residual por biometanización. Las posibilidades que concurren dentro de la primera vía son diversas, tales como fabricación de alimentos para animales, abonos, fabricación de harinas de varios tipos, industria cárnica de derivados, etc., siendo realizados en muchos de los casos en el propio matadero y, fundamentalmente, la fabricación de harinas. Así para un matadero con un sacrificio de unas 2.000 t/año de canal (con dos líneas, bovino y porcino), se pueden recuperar:

- De 200 a 250 t/año de harina de carne.
- Aproximadamente 150 t/año de grasas.
- Entre 250 y 300 t/año de harina de sangre.

Pero, también, en el caso poco frecuente en mataderos grandes que el residuo propio del animal no fuera empleado, podría ser utilizado en digestión con estas características (Ej.: ganado bovino).

Tabla 27.- Características de la posible digestión de residuos de ganado bovino

TIPO DE RESIDUO	PRODUCCION DE GAS l/kg ST	CONT. EN METANO (CH ₄) (%)
Intestinos	461	74
Vísceras	87	42
Sangre	157	51

En lo que se refiere a las aguas separadas en el proceso, éstas son susceptibles de pasar a una etapa de biometanización con ánimo de rebajar su carga orgánica, que suele oscilar alrededor de 2.500 a 3.000 ppm de DBO y con un caudal de 15 l/kg de canal. Así, en general, el vacuno es el ganado que proporciona mayor cantidad de residuo, ya que necesita gran cantidad de agua debido a su largo tubo digestivo (8) (tabla 17).

El matadero de aves es muy diferente al de ganado, siguiendo un proceso, según expresa el esquema 8, en el cual por cada 100 kg de pollo vivo se obtiene un 72% de pollo vaciado y un 28% de residuo (intestino, patas, cabeza, sangre, etc.) con una carga polucional en origen de (7):

Tabla 28.- Carga polucional de los residuos de mataderos de aves

DBO	150 - 2.400 mg/l
DQO	2.000 - 3.200 "
Sólidos en suspensión	100 - 1.500 "
Sólidos disueltos	200 - 2.000 "
Sólidos volátiles	250 - 2.700 "
Sólidos totales	350 - 3.200 "

Total alcalinos	40 - 350	mg/l
Nitrógeno total	15 - 300	"
Ph	6,4 - 8,1	

Si el matadero es de relativa importancia, puede tratar el residuo por separado, pero cuando ésto no ocurre es necesario meter el conjunto del residuo en autoclave, obteniéndose el siguiente análisis aproximado del producto residual:

Tabla 29.- Análisis del residuo de un autoclave de un matadero de aves con tratamiento conjunto:

Humedad	12,30 %
Proteína bruta	66,60 %
Proteína digestible	56,00 %
Proteína pura	50,80 %
Materia grasa	16,80 %
Fibra bruta	1,70 %
Materia mineral	4,50 %
Fósforo	1,50 %
Cálcio	1,00 %

Para la evaluación global primeramente deben tomarse los datos en cuanto a generación de residuos según el tipo de ganado.

Tabla 30.- Generación de aguas residuales de matadero en 1982

<u>GANADO</u>	<u>GENERACION</u> <u>10³ m³/año</u>
Bovino	8.483
Porcino	7.397
Aves	8.132

Se toman valores normales en cuanto al contenido orgánico del agua, para los dos tipos diferentes de matadero, llegándose al valor de la producción de gas en cada uno.

Se estima una producción de gas para una DBO de 1.500 mg/l de $0,97 \text{ m}^3 \text{ biogas/m}^3$ de residuo, con un contenido calorífico de 5.820 kcal/m^3 de residuo (Anderson y Col - 1977), pudiendo llegar la producción de gas a valores de $1,31 \text{ m}^3 \text{ biogas/m}^3$ residuo (se han tomado valores medios).

Con lo anteriormente expuesto y de forma estimativa, en lo sucesivo puede obtenerse definitivamente una producción total de gas de $28.691 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ biogas/año}$.

Lo cual representa un contenido calorífico de $1,3975 \times 10^{11} \text{ kcal/año}$, es decir, de 20.962 tec y trabajando con un rendimiento de la digestión por autorregulación de su temperatura del 70% los valores obtenidos se reducen a:

14.674 tec

7.4.3.- Evaluación energética del residuo orgánico de depuradoras urbanas

La depuración de aguas residuales tiene la característica que, desde el punto de vista de aprovechamiento energético, los lodos tienen propiedades similares en la mayoría de los casos. Así, uno de los factores más importantes, el contenido en sólidos, se considera que a la entrada del digesor tiene un valor del 4%. Con estas premisas se realiza un estudio en diferentes plantas del país y se ha obtenido un valor medio en

Tabla 31.- Valoración energética general de los lodos de depuradora.

PROVINCIA	1980		1982		1985	
	10 ⁶ N m ³ /año	tec/año	10 ⁶ N m ³ /año	tec/año	10 ⁶ N m ³ /año	tec/año
ALAVA	3,84	3.109	3,84	3.109	3,84	3.109
ALBACETE	-	-	-	-	-	-
ALICANTE	3,95	3.198	4,78	3.870	5,60	4.534
ALMERIA	-	-	0,55	445	1,10	891
ASTURIAS	2,20	1.781	2,20	1.781	2,20	1.781
AVILA	-	-	-	-	-	-
BADAJCZ	-	-	-	-	-	-
BALEARES	0,46	372	0,46	372	0,46	372
BARCELONA	11,35	9.189	21,31	17.252	31,26	25.308
BURGOS	2,52	2.040	2,52	2.040	2,52	2.040
CADERES	-	-	-	-	-	-
CADIZ	-	-	-	-	-	-
CASTELLON	-	-	-	-	-	-
C. REAL	-	-	-	-	-	-
CORDOBA	-	-	2,20	1.781	4,39	3.554
CORUNA	1,10	891	1,10	891	1,10	891
CUENCA	-	-	-	-	-	-
GERONA	2,46	1.992	4,11	3.327	5,76	4.663
GRANADA	-	-	-	-	-	-
GUADALAJARA	-	-	0,66	534	1,32	1.069
GUIPUZCOA	-	-	-	-	-	-
HUELVA	-	-	-	-	-	-
HUESCA	-	-	-	-	-	-
JAEN	-	-	-	-	-	-
LEON	-	-	-	-	-	-
LERIDA	-	-	-	-	-	-
LUGO	-	-	-	-	-	-
MADRID	12,02	9.731	37,34	30.230	62,65	50.721
MALAGA	-	-	2,20	1.781	4,39	3.554
MURCIA	-	-	-	-	-	-
NAVARRA	-	-	0,55	445	1,10	891
ORENSE	-	-	-	-	-	-
PALENCIA	1,10	891	1,10	891	1,10	891
PALMA L.	-	-	-	-	-	-
PONTEVEDRA	-	-	-	-	-	-
RIOJA	-	-	-	-	-	-
SALAMANCA	1,10	891	1,10	891	1,10	891
SANTANDER	-	-	1,65	1.336	3,30	2.672
SEVOGIA	-	-	-	-	-	-
SEVILLA	1,10	891	1,10	891	1,10	891
SORIA	-	-	-	-	-	-
TARRAGONA	-	-	-	-	-	-
TENERIFE	2,20	1.781	2,20	1.781	2,20	1.781
TERUEL	-	-	-	-	-	-
TOLEDO	1,10	891	0,55	445	-	-
VALENCIA	3,85	3.117	3,85	3.117	3,85	3.117
VALLADOLID	-	-	2,75	2.226	5,49	4.445
VIZCAYA	-	-	3,29	2.663	6,58	5.327
ZAMORA	-	-	-	-	-	-
ZARAGOZA	-	-	3,02	2.444	6,04	4.890
T O T A L	50,35	40.765	104,43	84.543	158,45	128.283
R (%) 100%	-	0,39	-	0,081	-	0,123
R (%) 70%	-	0,027	-	0,057	-	0,086

cuanto a la producción de gas respecto a la cantidad de fango tratado, mediante el cual se obtienen los valores de la producción de gas de la tabla 31, con un contenido calorífico de 5.400 kcal/m³.

Los valores del año 1982 han sido calculados por interpolación lineal, siendo sólo válidos para la cuantificación global y no para cada provincia en particular. De esta forma se obtiene un contenido energético de 40.765 tec/año en 1980, de 84.543 en 1982 y de 128.283 en el año 1985, suponiendo que el proceso de digestión metánica aproveche el 100%, pero es necesario quitar el 30% para mantener térmicamente el digestor, quedando: 28.535 tec/año (1980); 59.180 tec/año (1982); y 89.798 tec/año (1985).

7.5.- VALORACION ENERGETICA TOTAL DE LA BIOMASA RESIDUAL EN ESPAÑA

La valoración ha sido realizada en base a unos criterios básicos de cuantificación (Anexo III).

Valoración potencial

Esta valoración comprende, desde el punto de vista de generación, la totalidad del residuo (en el caso excepcional de R.S.U. la generación de núcleos mayores de 5.000 habitantes) y, desde el punto de vista energético, la valoración de dicha totalidad, en cuanto a poder calorífico (del residuo o del biogás) se refiere. Esta cifra sólo ha de ser tomada en cuenta como límite teórico de disponibilidad y como referencia cuando se deseen establecer factores porcentuales de disponibilidad o de reserva total, con independencia del coste de disponibilidad de la misma.

Valoración utilizable

Se ha estudiado bajo dos enfoques diferentes:

- Valoración primaria, en la cual el generado utilizable es valorado de forma análoga al caso potencial.
- Valoración secundaria, evaluada a partir de la anterior y teniendo en cuenta todo tipo de rendimientos energéticos medios, pero sin especificar tipo de aparato de conversión, con lo cual esta valoración queda sujeta al caso de que los rendimientos fueran del 86% y del 70% (digestión).

De esta forma, las valoraciones obtenidas llegan a pesar los 27 millones de tec al año en el ámbito potencial representando un 26,20% y en el caso utilizable algo más de 13 millones de tec al año en el primer caso y, pasados los 11 millones en el segundo, lo cual representa un 12,88% y un 10,91%, respectivamente.

Calculándose la repercusión frente a la energía total, ya sea de combustibles convencionales o a partir de residuos (Tabla 33), los resultados obtenidos son algo diferentes, observándose en el caso de residuos utilizables recuperaciones del 11,42% en la evaluación primaria y 9,83% en la secundaria.

TABLA 32 EVALUACION Y REPERCUSION ENERGETICA POTENCIAL, PRIMARIA Y SECUNDARIA DE LA BIOMASA RESIDUAL (CTB = 104×10^6 tcc/a)

TIPO DE RESIDUO	EVALUACION POTENCIAL					EVALUACION UTILIZABLE								
	GENERAC.	CUANTIFICACION ENERGETICA			REPERCUSION	EVALUACION PRIMARIA					EVALUACION SECUNDARIA			
		t/a	(tcc/a)	(tep/a)		% S/TOTAL	R _p (%)	t/a	tec/a	tep/a	% S/TOTAL	R ₁ (%)	tec/a	tep/a
R. FORESTALES	14.096.700	10.487.694	6.995.292	38,51	10,08	5.105.100	3.800.093	2.534.862	28,36	3,65	3.268.080	2.179.309	28,80	3,14
R.S.U.	8.279.727	1.702.468	1.135.546	6,25	1,64	4.727.879	1.019.837	680.231	7,81	0,98	877.060	565.000	7,73	0,84
RESIDUOS AGRICOLAS														
- Cult. leñosos y frutales	3.412.127	2.199.721	1.487.214	8,06	2,12	2.325.797	1.499.389	1.000.092	11,19	1,44	1.289.475	860.080	11,36	1,24
- Cereales de grano	20.767.720	10.836.264	7.094.368	39,08	10,23	11.572.770	6.658.532	3.768.906	42,17	5,44	4.859.458	3.241.258	42,83	4,57
- Cult. Ind. Agrícolas	869.400	412.020	274.817	1,51	0,40	685.040	320.596	213.837	2,39	0,21	275.712	183.900	2,43	0,27
TOTAL	25.049.247	13.248.005	8.836.419	48,64	12,75	13.858.722	7.479.516	4.982.834	55,75	7,19	6.424.645	4.285.238	56,62	6,18
RESIDUOS GANADEROS Y LODOS DEP. AGUAS URBANAS														
- R. animal vivo														
Bovino	32.942.000	1.007.270	671.849	3,70	0,97	16.471.000	503.835	335.925	3,76	0,48	352.544	235.147	3,11	0,34
Equino	3.138.000	144.730	96.535	0,53	0,14	1.255.000	67.883	38.608	0,43	0,06	40.518	27.026	0,36	0,04
Cap. y ovino	8.090.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Porcino	11.968.000	282.000	194.764	1,07	0,28	6.976.000	219.000	146.073	1,63	0,21	153.300	102.251	1,26	0,15
Aviar	3.995.000	216.140	144.165	0,79	0,21	3.596.000	194.553	129.767	1,46	0,19	136.187	90.837	1,20	0,13
Conejos	437.000	32.338	21.568	0,12	0,03	394.000	29.164	19.446	0,22	0,03	20.408	13.612	0,18	0,02
- R. Animal muerto														
Mataderos Bovino (*)	8.483.000	7.405	4.939	0,027	0,007	8.483.000	7.405	4.939	0,056	0,007	5.184	3.458	0,046	0,005
Mataderos Porcino (*)	7.397.000	6.457	4.307	0,024	0,006	7.397.000	6.457	4.307	0,048	0,006	4.519	3.014	0,040	0,004
Mataderos Aviar (*)	8.132.000	7.100	4.736	0,026	0,007	8.132.000	7.100	4.736	0,063	0,007	4.970	3.215	0,044	0,005
- Lodos dep. (1° + 2°) (*)	9.031.000	84.643	56.390	0,310	0,081	9.031.000	84.643	56.390	0,631	0,081	59.180	39.473	0,522	0,057
TOTAL	-	1.797.981	1.199.253	6,60	1,731	-	1.109.730	740.191	8,28	1,07	776.810	518.133	6,85	0,75
TOTAL	-	27.236.148	18.166.510	100,00	26,20	-	13.409.176	8.937.918	100,00	12,89	11.346.595	7.568.180	100,00	10,91

(*) - m³/año (generación).TABLA 33: REPERCUSION ENERGETICA POTENCIAL, PRIMARIA Y SECUNDARIA DE LA BIOMASA RESIDUAL RESPECTO AL TOTAL DE ENERGIA (E_T)

	REPERCUSION POTENCIAL		REPERCUSION PRIMARIA		REPERCUSION SECUNDARIA	
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
R. FORESTALES	7,99		3,24		2,83	
R.S.U.	1,30		0,87		0,76	
R. AGRICOLAS						
- Cult. leñosos y frutales	1,68		1,28		1,12	
- Cereales de grano	8,10		4,81		4,21	
- Cult. Ind. agrícolas	0,31		0,27		0,24	
TOTAL	10,09		6,36		5,57	
R. GANADEROS Y LODOS DEP. AGUAS URBANAS						
- R. animal vivo	1,29		0,86		0,61	
- R. animal muerto	0,02		0,02		0,01	
- Lodos dep. (1° + 2°)	0,06		0,07		0,05	
TOTAL	1,37		0,95		0,67	
TOTAL	20,75		11,42		9,83	

E_T = CIB + E_R. (E_R = Energía a partir de residuos, E_p = 27.161.825, E₁ = 13.400.176, E₂ = 11.346.595 tcc/a).

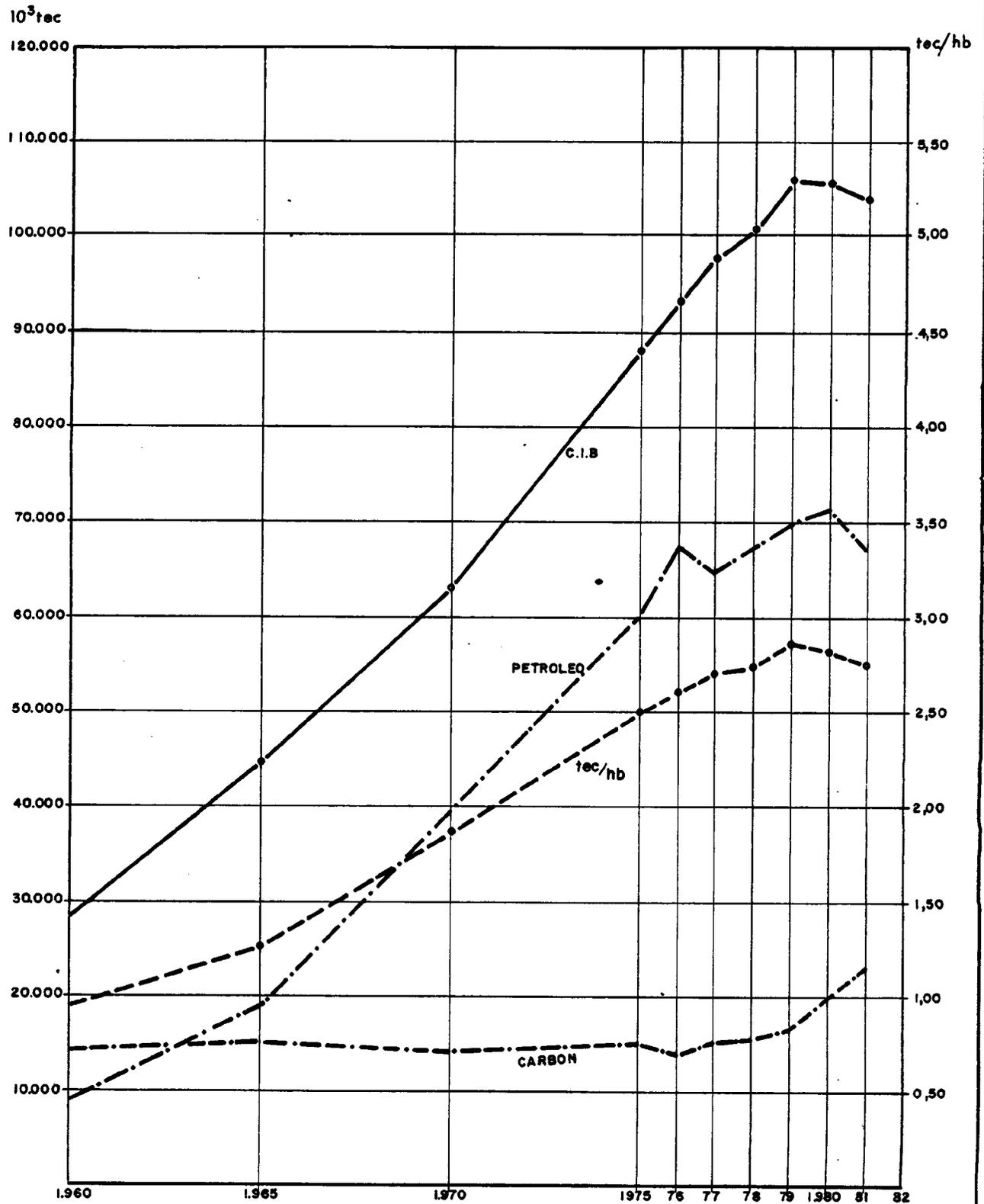
ANEXO I

EVALUACION GLOBAL DEL CONSUMO INTERIOR BRUTO DE ENERGIA PRIMARIA (10)

AÑO	Consumo interior bruto (10 ³ x tec)	10 ³ x habitantes (1 de julio)	CONSUMO POR HABITANTE	
			tec	Crecimiento (%) anual
1960	28.666	30.455	0,941	6,13
1965	40.466	31.954	1.267	8,12
1970	63.179	33.752	1.872	5,89
1975	88.226	35.401	2.492	4,74
1976	93.500	35.824	2.610	3,68
1977	98.113	36.256	2.706	1,78
1978	100.999	36.667	2.754	4,72
1979	106.681	36.995	2.884	- 1,39
1980	106.018	37.272	2.844	- 2,29
1981 (*)	104.000	37.553	2.779	-

(*) Cifras provisionales.

EVOLUCION GLOBAL DEL CONSUMO INTERIOR BRUTO (C.I.B) DE
ENERGIA PRIMARIA (10)



GRAFICO

ANEXO II

$$\begin{aligned}
 \text{PCS} &= (430)(0,1820) + (4.330)(0,023) + (1.000)(0,439) + 4.030(0,005) + \\
 &+ (8.850)(0,049) + (3.400)(0,015) + (4.470)(0,022) = \\
 &= 1.929,80 \text{ kcal/kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 450(\text{U} + 94)$$

U = Porcentaje de humedad del combustible referido a la unidad

H = " " hidrógeno " " " " " "

540 kcal (Valor de condensación de 1 kg de vapor de agua)

POTENCIAL: Núcleos mayores de 5.000 habitantes.

$$\text{PCI} = 1.929,80 - 540(0,415 - 9 \times 0,0677) = \boxed{1.376,45 \text{ kcal/kg}}$$

UTILIZABLE:

$$\text{PCI} = 1.929,80 - 540(0,30 - 9 \times 0,0677) = \boxed{1.438,77 \text{ kcal/kg}}$$

Nota (2): El porcentaje en plásticos se deja invariable, ya que al aumentar la población aumenta la fracción combustible, aumentando el contenido en plásticos, pero disminuyendo a la vez la fracción orgánica, contrastándose en aproximación las desviaciones.

A N E X O III

CRITERIOS DE EVALUACION

- Evaluación potencial

. Incineración

Generación: potencial

Rendimiento: $\eta_p = 100\%$

Valoración: según contenido calorífico

. Digestión metánica

Generación : Potencial

Rendimiento : $\eta'_p = 100\%$

Valoración : según contenido en metano (CH_4)

- Evaluación utilizable

. Incineración

Generación : Utilizable

Rendimiento: $\eta_1 = 100\%$

Valoración : Según criterio calorífico

. Digestión metánica

Generación : Utilizable

Rendimiento: $\eta'_1 = 100\%$

Valoración : Según contenido en metano (CH_4)

- Evaluación secundaria

. Incineración

Generación : Utilizable

Rendimiento: $\eta_2 = 86\%$

Valoración : Según contenido calorífico

. Digestión metánica

Generación: Utilizable

Rendimiento: $\eta'_2 = 86\%$

Valoración: Según contenido en metano (CH_4)

- Evaluación real

* Aprovechamiento directo (producción vapor de agua)

. Incineración

Generación : Utilizable

Rendimiento: $\eta_3 = 35\%$ (27)

Valoración : Contenido calorífico del vapor

. Digestión metánica

Generación : Utilizable

Rendimiento: $\eta'_3 = (86\% \text{ y } 35\% -27-)$

Valoración : Contenido calorífico del vapor

* Aprovechamiento indirecto (producción de electricidad)

. Incineración

Generación : Utilizable

Rendimiento: $\eta_4 = 15\%$ (35% y 43%) (27)

Valoración : Electricidad

. Digestión metánica

Generación : Utilizable

Rendimiento: $\eta_4 = 25\%$

Valoración : Electricidad