PROLOGO

Excmo. Sr. Director, Excma. y Excmos. Sres. Académicos, Sras. y Sres.:

Con profunda emoción y no menor alegría ocupo una vez más esta tribuna, aún cuando hoy lo haga con un motivo y un significado muy distinto a los de ocasiones anteriores. Por ello, sin mayores ambages, quiero que mis primeras palabras sean de gratitud. Y no sólo por razones de protocolo, sino porque entiendo que la gratitud, junto con el amor, son los sentimientos más vitales del hombre y los únicos capaces de crear la generosidad y la ilusión que deben serle exigidas a un científico al que le habéis hecho el honor, Sres. Académicos, de incorporarle a una Institución tan altamente cualificada como es la Real Academia de Farmacia.

En un momento como este, al hacer un análisis introspectivo de mi personal peripecia científica y académica, llego a la conclusión de haber contraído una enorme deuda de gratitud, quedando como mérito personal -quizás- el haber aprovechado, en parte, los esfuerzos y desvelos que un gran número de personas hicieron, y hacen, en mi favor.

Mi gratitud alcanza, en primer lugar, a todos vosotros, Sres. Académicos, encabezados por el Excmo. Sr. Director, Prof. Santos Ruiz, de quien siempre he recibido todo tipo de incentivos y ánimos para seguir en la tarea. Y os agradezco no sólo la benevolencia de juicio que os condujo a otorgarme vuestra confianza, sino también la oportunidad en que ésta se ha producido. Cuando en el año 1.974 ingresé como Académico Correspondiente, manifesté en mi discurso que "era consciente de que el rango y dignidad de aquella designación no podía tener parangón con el de Académico de Número; sin embargo, tenía la enorme compensación de no venir a sustituir a nadie". Como si aquellas palabras hubieran sido premonición de futuro, resulta que me habéis incorporado de lleno a la Academia para ocupar la medalla nº 42, de nueva creación.

Tampoco pues, vengo ahora a sustituir, sino a añadir, consciente

de la responsabilidad que esto supone. Debo, pues, agradecer también esta circunstancia, al mismo tiempo que dedico un respetuoso recuerdo a cuantos cualificados científicos ocuparon lugar en esta Institución y que el destino inexorable de la vida les ha hecho desaparecer. Ellos dieron un ejemplo de vocación y de entrega a esta Academia que me compromete para el futuro. Al honor que me otorgáis yo sólo puedo corresponder con una decisión de servicio.

Capítulo especial de gratitud quisiera dedicar a los tres Excmos. Sres. Académicos que patrocinaron mi propuesta, Profs. Vián Ortuño, Carpena Artes y Sanz Pedrero.

Mi conocimiento personal de D. Pablo Sanz, data del día de su discurso de ingreso en esta Real Academia. Conocía sus magníficos trabajos en el campo de la Polarografía y su trayectoria académica en Santiago y en Madrid, pero no conocía al hombre. Después, la propia Academia me ha facilitado el conocimiento personal, comprobando que sus cualidades humanas y su talante se encuentran al mismo elevado nivel que su obra científica.

Mis primeros contactos con el Prof. Carpena datan de la época de mi ingreso como Catedrático de Química en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. No se puede explicar Química en un Centro dedicado a enseñanzas agrícolas sin haber leído, escuchado y aprendido a D. Octavio, auténtico creador de la Química Agrícola en España. Mi progresivo contacto con el Prof. Carpena requirió escaso mérito de mi parte, pues todo lo puso él: la sabiduría y la amistad. D. Octavio es de esos hombres sinceramente sencillos que hacen el bien en silencio, sin duda porque saben que el silencio, en sí mismo, es ya un bien.

Por último debo referirme a mi primer proponente: D. Angel Vian. Difícilmente puedo agradecer a D. Angel en unas breves líneas los 42 años de caminar juntos, de ellos 24 codo a codo, día a día, minuto a minuto. Lo personal y lo profesional han ido fundiéndose, poco a poco, en el curso del tiempo, hasta el punto de que en este momento me sería imposible separarlo. Decir que el Prof Vian es uno de los grandes maestros

universitarios de nuestros tiempos es obvio, por conocido. Sus aportaciones a las enseñanzas de Química Industrial y la incorporación de las disciplinas de Proyectos y Economía de la Industria Química han marcado un hito singular en las Facultades de Química. Sin embargo, lo que quizá no sea ya tan conocido es que en su magisterio ha sabido compatibilizar su esfuerzo formativo con el respeto a la libertad, y la firmeza de sus enseñanzas no ha mermado, sino enriquecido, la capacidad de desarrollo personal de sus colaboradores y discípulos. El no ha creado epígonos, sino formado hombres, porque "nada de lo humano le es ajeno." Pero Angel Vian no es sólo maestro de la Química, sino que es también maestro del lenguaje, lo que no es demasiado habitual en el ámbito científico. Conoce y maneja el idioma con precisión y naturalidad, sin descuidar la belleza expositiva. Decía no hace mucho Pere Ginferrer "que la insensibilidad hacia el lenguaje que aparece, a veces, en la literatura de hoy, más que un descuido estético equivale a un fallo moral". No es este su caso; su prosa constituye siempre una clara exposición de sus ideas y de sus vivencias. Si a todo ello se une su sensibilidad para captar la realidad social, científica y técnica del entorno y su capacidad para correlacionar pasado y presente, e intuir las situaciones de futuro, se conforma un marco expositivo pleno de saberes y de buen hacer del lenguaje. Pero todavía hay algo más que debo reconocer y agradecer: su vocación y su pasión por lo que hace. Su vocación permanente le ha llevado a la renuncia amable de atractivos señuelos, en los que, sin duda, también hubiera tenido éxito, pues le sobraba competencia. Pero no estaban en su camino. D. Angel ha hecho siempre lo que ama y ha amado siempre lo que ha hecho, porque a su vocación une su apasionamiento por la obra bien hecha. Juntos -aunque más bien debo decir que a su lado-, hemos recorrido trochas científicas de difícil tránsito, y siempre con éxito, aunque la cicatería social haya tardado en reconocérselo, o quizá no lo haya hecho todavía. Muchas gracias, D. Angel, por cuanto me ha enseñado. Muchas gracias también por su amistad.

Mi reconocimiento y recuerdo para todos mis Maestros. Un Maestro es siempre el tuero de la vida, del pensamiento y de las ideas. Es ese ser capaz de mantener latente un rescoldo que alimenta permanentemente la laboriosidad y del que surge la llama que ilumina la creatividad

de sus discípulos. En este sentido mi gratitud para aquel Maestro, llamado D. Antonio Mingarro que, desde su Cátedra de Bachillerato, fue el hacedor de tantas vocaciones de estudiosos de la Química. Mi reconocimiento también al fallecido Prof. Burriel, quien con muy pocos medios, me abrió los laboratorios de su Cátedra y me incorporó a uno de sus temas de trabajo, con el que yo realicé mi Tesis Doctoral. De su tenacidad y de su indomable voluntad para vencer el inmenso piélago de dificultades que la época presentaba, yo fuí uno de los beneficiarios. Y junto al Prof. Burriel quiero tener presente también a los restantes Catedráticos que, en reducido número, y con una penuria de medios hoy inconcebible, tuvieron a su cargo la formación básica de aquellos alumnos que pasamos por la Facultad en la década de los años 40. Su talento y su entrega suplieron con éxito todas las carencias y penurias. A todos quiero rendirles mi homenaje de admiración y respeto.

También en este capítulo debo recordar a ese gran profesor que es D. Juan Santa María. Con él inicié mi larga singladura académica en la Escuela de Ingenieros Agrónomos. Y, aunque en estricto no ha sido profesor mío, siempre me dió su valioso consejo cuando hube de menester.

Y para terminar este prólogo, un recuerdo para los más míos. En primer lugar mis padres; ellos fueron también mis primeros maestros. Con dolor siento hoy su ausencia, impuesta por el inapelable paso del tiempo, pero ya decía Teilhard que "el dolor es el precio del ser". Yo tengo la certeza de que desde el seno del Señor, y con los ojos del espíritu, asisten complacidos a este acto. Después, ahí están mi mujer, Ana Mª, y mis hijos: ellos son los auténticos acreedores del tiempo que yo he dedicado a tesis, tesinas, publicaciones, trabajos y memorias de oposición. Ellos no han tenido la compensación de sentirse autores y ni siquiera les he dedicado esa convencional frase de reconocimiento con la que cortésmente se agradece una colaboración. Pero, es más, ellos no sólo han sido pacientes y silenciosos, sino también entusiastas animadores de mis empeños universitarios y científicos. Por ello, mi recuerdo no sólo es de gratitud, sino de justicia.

0.- LA ELECCION DEL TEMA.-

En el año 1.988, y coincidiendo con el término del Año europeo del Medio Ambiente, esta Real Academia organizó un ciclo de Conferencias bajo el título general de "Efectos de la Contaminación". Dentro del mismo me cupo el honor de dictar una de ellas dedicada a "Efectos de la contaminación sobre los terrenos". La extensión del tema me obligó a dejar fuera de la exposición el acuciante problema de los residuos, y así lo hice notar en aquel momento, al mismo tiempo que me ofrecí a hacerlo en cualquier otra ocasión.

Creo que difícilmente podría encontrar otra más propicia y solemne que esta para abordar lo que, por razones de tiempo, dejé entonces pendiente. Más aún, cuando en los tres años transcurridos el tema ha crecido en actualidad y necesita de un tratamiento equilibrado, dentro de sus propios límites y marginando ese otro tipo de intereses, con frecuencia rayanos en la demagogia, ajenos, por supuesto, al ámbito científico e intelectual en que aquí se presenta.

1.- CONCEPTO Y CLASES.-

Los residuos son la consecuencia lógica del proceso evolutivo que experimenta la materia, por sí misma, o tras su empleo o uso en diferentes actividades. Los residuos, pues, se han producido siempre; pero los residuos "como problema" son una consecuencia de la creciente preocupación, técnica, económica y social, por la defensa del Medio Ambiente y por la economía o ahorro de recursos.

En función de ello, bajo el nombre de residuos se agrupan todo un conjunto de materiales que carecen de valor en la condiciones de lugar y de tiempo en que se generan; es decir, su conceptualización se apoya en su falta de utilidad. Pero la realidad es que esto es insuficiente, pues puede ir más allá, hasta llegar a una utilidad negativa, como son los casos de agresión al Medio Ambiente, o a las condiciones de salubridad.

Desde una perspectiva científica, los residuos son el resultado de la transformación de la materia en su tendencia a alcanzar una situación inerte o de máxima estabilidad. El crecimiento entrópico es, en último extremo, la causa primaria de la generación de residuos. En todo caso, no se puede olvidar que los principios de conservación de la materia y de degradación de la energía conducen, de manera inapelable, a que todo tipo de recurso demandado a la naturaleza, en un plazo más o menos largo, según los casos, se convierta en residuo.

Sin embargo, hay que reconocer que todo ello no deja de tener un significado temporal, por cuanto la concurrencia de fenómenos evolutivos, aisladamente finalistas, puede ser causa de que, con posterioridad, lo que era residual, deje de serlo. Baste, como ejemplo, pensar que, hace unos 3.600 millones de años, la aparición de los procariontes fotosintéticos permitió a la naturaleza alcanzar la capacidad de fijar el CO_2 mediante la energía radiante del Sol, liberándose una molécula de oxígeno por cada dos de CO_2 puestas en juego. Resulta así que lo que hoy día constituye una de las reservas básicas, el oxígeno, es un producto residual de otro proceso vital: la fotosíntesis. Para validar estas ideas, en la actualidad se intentan buscar bolsas de una atmósfera antigua que no haya sufrido transforma-

ciones durante millones de años. Cuestión difícil, que se ha abordado mediante la búsqueda de resinas fósiles, como el ámbar, que pudieran tener atrapadas en su seno burbujas de aire de tan remota época. Sobre esta base, un científico de la Universidad de Yale, Robert A. Wernes, moliendo ámbar en el vacío encontró que el aire liberado de las burbujas, procedente de hace unos 80 millones de años, contenía un 32% de oxígeno, frente al 21% actual. Es verdad que estos resultados, por espectaculares que parezcan, hay que tomarlos con toda reserva y habrá que esperar a su ratificación o rectificación. Pero constituyen un indicio racional de que la dinámica de la propia naturaleza, tiende hacia la reutilización de los residuos, a través de la evolución del medio hasta ser readaptado a las nuevas condiciones generadas por los mecanismos, o a partir de los mecanismos, anteriormente vigentes.

La cuestión está en que el hombre no puede esperar pasivamente la lenta evolución de la naturaleza, más aún cuando ello puede poner en riesgo su propia existencia. El hombre tiene una capacidad técnica que es lo que le diferencia del resto de los seres vivos. "La técnica -dice Ortega- es la reforma de la naturaleza, de esa naturaleza que nos hace necesitados y menesterosos, reforma en sentido tal que las necesidades quedan, a ser posible, anuladas por no ser problema su satisfacción". "Mientras el animal -dice en otro lugar- por ser atécnico, tiene que arreglárselas con lo que encuentra dado ahí y fastidiarse o morir cuando no encuentra lo que necesita, el hombre, merced a su don técnico hace que encuentre siempre en su derredor lo que ha de menester.... La técnica es lo contrario de la adaptación del sujeto al medio, puesto que es la adaptación del medio al sujeto" (ORTEGA, 1.939).

Señala VIAN (1.984) en su lección de apertura del curso 84-85 en esta Real Academia que de los cuatro elementos fundamentales, que integran nuestro ecosistema, la Técnica es el de mayor elasticidad de oferta y en el que ha de apoyarse la recuperación del equilibrio natural. La Técnica, debe comenzar por favorecer el desarrollo de tecnologías limpias, no sólo por lo que significan en cuanto a aminorar la generación de residuos, sino por cuanto evitan la dispersión y el consumo de recursos básicos.

Pero además, debe conducir al desarrollo de los procedimientos que permitan el reuso de aquellos residuos que, en todo caso, han de generarse. Y cuandó a pesar de todo, los condicionantes económicos limiten la posibilidad real de llegar a su reutilización en el momento actual, hay que hacer las previsiones necesarias para acumularlos en estado inerte, en espera del desarrollo de nuevas tecnologías que superen las limitaciones presentes, siempre que el Medio Natural pueda soportarlo sin desequilibrio peligroso.

De todas formas, y en relación con los residuos procedentes de materias renovables -que son los que en esta ocasión van a ser objeto de estudio- no se puede olvidar que la Naturaleza, a través de sus propios mecanismos, ofrece un modelo ideal de reciclado, que tiene el inconveniente de su lentitud, por lo que la tecnología debe coadyuvar con los mecanismos naturales para que el Medio absorba y regenere los materiales degradados.

La clasificación de los residuos suele hacerse en función de su origen. De aquí que se hable de residuos de origen vital, urbanos, industriales, mineros y radioactivos. No obstante, se hacen desgloses parciales en función de su toxicidad o de su estado de agregación. Tal es el caso de los residuos especiales, llamados en un principio tóxicos y peligrosos, y a los que la CEE ha cambiado no hace mucho de nombre, posiblemente para eliminar lo que de suspicacia y amenaza tenía la denominación anterior. Conviene advertir que los residuos urbanos tienen un fuerte componente de residuos vitales; sin embargo, no se incluyen entre estos, tanto por su heterogeneidad y forma de generación, como porque dentro de los vitales se agrupan los generados en los procesos productivos o manipuladores de biomasa, antes de llegar al consumo humano.

2.- LOS RESIDUOS DE ORIGEN VITAL.-

Los residuos de origen vital se generan a través de los diferentes estadios y transformaciones experimentadas por la biomasa primaria. La FAO (FAO, 1.980) define la biomasa como el conjunto de plantas terrestres y acuáticas, junto con sus derivados, subproductos y residuos producidos en su transformación. El término biomasa comprende, pues, a las materias hidrocarbonadas, no fósiles, en las que mediante el proceso básico de la fotosíntesis, se ha producido la reducción y fijación del anhídrido carbónico.

Se han hecho diferentes estimaciones sobre la producción anual de biomasas. WITTAKER (1.975) la evalúa en unos 170.000 millones de t/año de materia seca, con un contenido energético del orden de 68.000 millones de TEP, lo que supera en más de diez veces el consumo anual de combustibles fósiles de toda la humanidad. BASSHAM (1.975), por la misma época, hace unas estimaciones sobre la producción neta de biomasa ligeramente inferiores, pero del mismo orden, dando la cifra de 155.000 millones. La distribución de la producción, dada por uno y otro autor, aparece en la Tabla I.

TABLA I

PRODUCCION DE BIOMASA EN LA BIOSFERA

(Referido a materia seca)

REGION	Productividad neta			
	Según Wittaker		Según Bassham	
	10^9 t/año	%	10^9 t/año	%
Bosques y montes bajos	79,9	47	71,1	45,8
Prados y estepas	18,9	11,1	15,1	9,7
Desiertos	2,8	1,6	0	0
Cultivos agrícolas	9,1	5,4	9,2	6,6
Aguas continentales	4,5	2,6	5,0	3,2
Océanos	55,0	32,3	54,9	35,3
TOTAL	170,2	100	155,3	100

Pocos años antes McHALE (1.970), cifraba la productividad neta en una cantidad, 150 x 10^9 t/a, pero con la ventaja de que aporta la distribución según destino, que aparece en la fig-1.

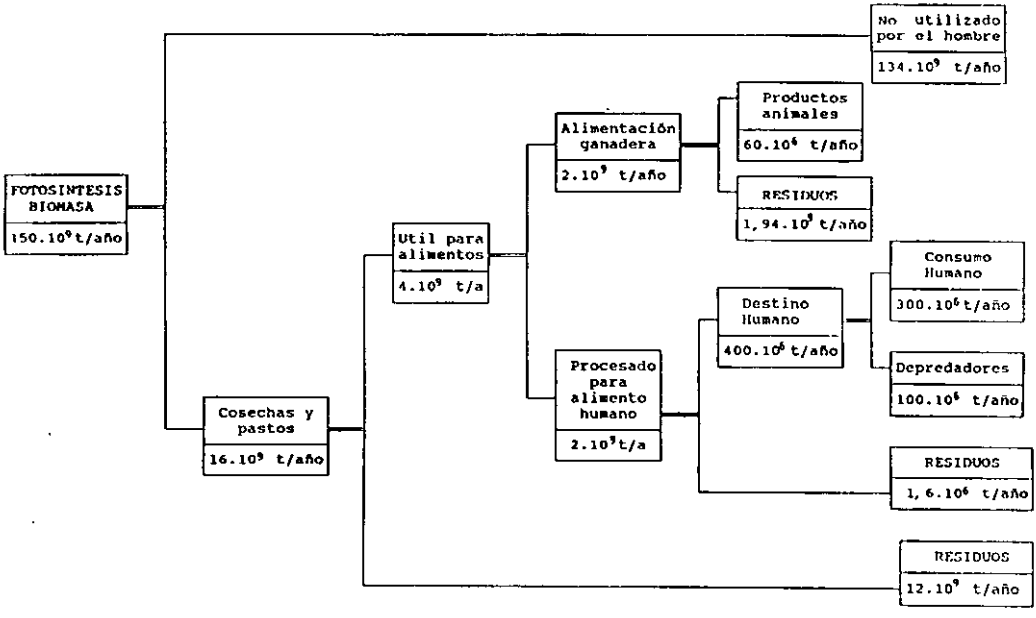


Fig -1- Producción y distribución de Biomasa Vegetal

De las 150 Gt de producción total, sólo 16 Gt son utilizadas por el hombre, quedando las 134 Gt restantes fijadas como madera de bosques y residuos forestales espontáneos, que en mayor o menor grado se descomponen por diferentes mecanismos fermentativos.

Pero lo sorprendente es que de esas 16 Gt sólo 4 Gt son potencialmente útiles para alimentos, quedando como residuos 12 Gt. De las 4 Gt útiles, se destinan 2 Gt a alimentación ganadera, que con una eficiencia del 3% conducen a la pequeña cantidad de 60 millones de toneladas de productos ganaderos. De las otras 2 Gt que se procesan para consumo humano sólo se logran 400 millones de toneladas, quedando como residuos 1,6 Gt. Y todavía, antes de llegar a la ingesta por el hombre, se pierden por diferentes causas depredativas otros 100 millones de toneladas quedando para uso humano real sólo 300 millones de toneladas.

Posiblemente las cantidades que, según McHALE, llegan al hombre, están infraevaluadas y, por supuesto, a ellas hay que añadir los productos animales obtenidos directamente de la biomasa vegetal no manipulada por el hombre; pero, con todo, el balance es desolador. Y no sólo por el índice de eficacia, sino más aún, ante el hecho de que se hayan convertido en residuos las siguientes cantidades:

Residuos directos de cosechas y pastos:	12,0 Gt
Residuos de procesado de alimentos:	1,6 Gt
TOTAL:	13,6 Gt

A las que todavía habría que sumar los residuos de la producción animal, que bajo la forma de sólidos, líquidos y gases equivalen a 1,94 Gt y a las cantidades, ya menos significativas (100 millones de t) que se pierden en los procesos depredativos antes del consumo humano. Y, por supuesto, ahí está también la fracción no evaluada, pero significativa, de la biomasa no utilizada por el hombre, y convertida directamente en residuos.

Contando sólo con las 13,6 Gt de residuos directos de biomasa vegetal, y supuesta una población de 5.200 millones de habitantes, resulta que por este solo concepto tenemos una generación de residuos de 2,6 t/persona-año. Cuando tanto se habla de recursos, son cantidades que deben tomarse en consideración, sobre todo porque se trata de una fijación de la energía solar, exceptuando los imputs energéticos de los cultivos y procesados.

A efectos prácticos, hay que considerar que los residuos de carácter vital tienen cuatro orígenes básicos: agrícolas, ganaderos, forestales e industriales. En la Tabla II se esquematizan algunas de las diferentes causas puntuales de cada uno de los cuatro.

TABLA II

ORIGEN DE LOS RESIDUOS VITALES

Tipo de residuo	Origen
Agrícolas	* Cultivos de cereales, leguminosas, hortícolas, etc. * Cultivos de frutales, olivar, viñedo, etc. * Cultivos industriales.
Ganaderos	* Estiércoles y deyecciones
Forestales	* Podas y entresacas
Industriales	* Industrias agrícolas * Industrias cárnicas, lácteas, etc. * Transformación de la madera

Los residuos agrícolas están integrados, pues, por restos de cosechas tales como pajas, zuros, tallos, restos de hortícolas, podas de leñosas, como el ramón del olivo, sarmientos de vid y podas de frutales, o bien residuos de cultivos industriales, como la soja, el girasol, la caña de azúcar, la remolacha azucarera y el algodón. Sus generaciones son muy elevadas, como puede observarse en la Tabla III.

TABLA III

COEFICIENTES DE GENERACION DE ALGUNOS RESIDUOS AGRICOLAS

Cultivo	Coeficiente
Trigo	1,2 Kg/Kg de producto
Cebada y avena	1,4 Kg/Kg de producto
Centeno	2,5 Kg/Kg de producto
Maíz	2,7 Kg/Kg de producto
Arroz	1,5 Kg/Kg de producto
Cítricos y frutales de hueso	2,5 Kg/año y pie
Frutales de pepita	2,5 Kg/año y pie
Almendro	3,0 Kg/año y pié
Olivar	8,0 Kg/año y pie
Viñedo	1,0 Kg/año y pie
Soja	1,1 Kg/Kg de producto
Caña de azúcar	2,0 Kg/Kg de producto
Remolacha azucarera	0,2 Kg/Kg de producto

Su naturaleza es fundamentalmente lignocelulósica y su composición oscila entre los valores que aparecen en la Tabla IV.

TABLA IV

COMPOSICION DE RESIDUOS AGRICOLAS

Componente	Contenido s/ producto seco, %
Holocelulosa	70 - 80
Lignina	16 - 22
Cenizas	2 - 10
Gomas, resinas, etc.	1 - 10

Los residuos forestales están integrados por restos de cortes y elaboración de madera, así como por los residuos de tratamientos selvícolas, como son los obtenidos en las limpias de los bosques naturales y en los claros de las repoblaciones forestales. Su composición es también lignocelulósica, aunque varía discretamente según se trate de coníferas o de frondosas (Tabla V).

TABLA V

COMPOSICION DE RESIDUOS FORESTALES

Componentes	Frondosas %	Coníferas %
Holocelulosa	70-85	60-75
Ligninas	18-30	25-35
Cenizas	0,5-1,0	0,2-0,7
Gomas, resinas, etc.	0,7-1,5	0,5-4,5

Los residuos ganaderos están formados por materia orgánica más o menos evolucionada y descompuesta, procedentes de los procesos digestivos de los animales. Su composición varía según la edad y clase de animal de que procede, así como del tipo de pienso o ingesta con que fue alimentado. Se presentan, asimismo, bajo formas sólidas o líquidas, aunque caben matices según su contenido en materia seca. Quizá el aspecto más significativo sea sus apreciables contenidos en los nutrientes agrícolas tradicionales, N, P_2O_5 y K_2O, que, junto con la materia orgánica, han sido las causas determinantes de su tradicional empleo como fertilizante agrícola.

Las cantidades de residuos de origen vital generados en España aparecen en la Tabla VI (MOPU, 1.990).

TABLA VI

PRODUCCION DE RESIDUOS DE ORIGEN VITAL EN ESPAÑA

Clase	Cantidad 10^6 t/año	%
Agrícolas	35	30,7
Forestales	17	14,9
Ganaderos	62	54,4
TOTAL	114	100,0

Posiblemente, el gran problema para la eliminación y aprovechamiento de este tipo de residuos está en la dispersión con que se generan y en el elevado costo de su recogida. Pero estos serán factores que cada día tendrán menor significado como condicionantes para su aprovechamiento, frente a la importancia creciente que adquiere su utilización por razones económicas, unas veces, y sanitarias otras. En el caso de los residuos ganaderos, la evolución experimentada por las explotaciones, que están pasando del minifundio a explotaciones intensivas de gran dimensión, hacen que el problema se sienta con connotaciones más graves ante el impacto contaminante y el aumento de los procesos patológicos y bacterianos.

En los países de pequeña superficie y de alto nivel de industrialización, su tradicional consumo como fertilizante no absorbe todo lo que se genera. Por ello es cuestión sometida a debate, no sólo en los ámbitos

científicos y técnicos, sino también en los que se ocupan de la política agraria europea, existiendo ya normas sobre estas explotaciones ganaderas y sobre el manejo y aplicación de los residuos. De otra parte, se busca la manera de fabricar piensos poco generadores de residuos, reduciendo para ello el contenido de proteínas que se compensa con la adición de aminoácidos sintéticos.

Sin embargo, es evidente que los nuevos modos de generación de estos residuos facilitan su recogida y su posterior tratamiento, de tal manera que en la actualidad el porcentaje de los recogidos sobre el total de los generados es del 53%, mientras que en el caso de los forestales y de los agrícolas es sólo del 50% y 45%, respectivamente.

Los residuos de industrias agroalimentarias y forestales también, deben incluirse entre los residuos de origen vital, tanto por su naturaleza, como porque la generación puntual favorece su acción contaminante y sus posibilidades de recogida y reuso.

Tienen la característica de ser sólidos y líquidos por lo que con frecuencia es difícil su encuadre en los inventarios de residuos. En conjunto entre los sólidos, líquidos y en disolución, la cantidad de los generados en España (Centro de Estudios de la Energía) por algunos de los más importantes subsectores de la Industria Agroalimentaria y Forestal, aparece en la Tabla VII.

TABLA VII

PRODUCCION DE RESIDUOS DE INDUSTRIAS AGROALIMENTARIAS Y FORESTALES EN ESPAÑA

Industria	Producción anual 10^3 t.
Frutos secos	2.200
Conservas vegetales	650
Levaduras	100
Azucareras	2.100
Cerveceras	2.150
Extracción de vino	1.500
Alamazanas y extracción de aceite	1.600
Lácteos	2.700
Mataderos y cárnicas	8.100
Industrias de la madera	3.000

Las evaluaciones sobre la cuantía de los residuos generados por la industria agroalimentaria ofrecen ciertas oscilaciones (FAO, 1.982), pero es evidente que, en general, presentan un alto índice de generación (Tabla VIII) (Centro de Estudios de la Energía, 1.981).

TABLA VIII

COEFICIENTE DE GENERACION DE RESIDUOS EN INDUSTRIAS AGROALIMENTARIAS

Industria	Coeficiente de generación Kg de residuo/Kg de materia prima
Conservas vegetales	0,41
Almazaras	0,35
Extracción de vino	0,29
Frutos secos	0,72

Como es lógico en el caso de las almazaras, no incluyen los alpechines, que es el agua de vegetación de las aceitunas generada durante su molturación en proporción que oscila entre 0,5 - 1,5 l/kg, lo que eleva mucho el índice figurado.

La naturaleza de los residuos agroindustriales es variable según su origen y estado de agregación. En el caso de los frutos secos, como puede ser la cáscara de almendra, tienen un bajo contenido de cenizas (1,0%) y de humedad (del orden del 15%), un alto contenido en volátiles y un poder calorífico superior de 4.100 Kcal/Kg por lo que su uso como combustible o para gasificación está muy claro, aunque puede presentar problemas.

Sin embargo, la solución no siempre es tan sencilla y evidente. Tal es el caso de los citados alpechines producidos en la elaboración del aceite de oliva en una proporción que viene a ser del orden de 2,5 veces la producción del aceite de oliva. Si este residuo se vierte en los ríos da origen a un rapidísimo consumo del oxígeno disuelto, hasta el punto de que, a veces, en menos de una hora, el río se convierte en un sistema abiótico.

Su fracción orgánica, de origen lignínico, constituye el 14-15% y es la responsable del fuerte poder reductor, pero, además, contiene fenoles

y polifenoles que le dotan de una fuerte capacidad antibacteriana (SORLINI, 1.986).(RODRIGUEZ, 1.988), que limita las posibilidades de autodepuración. Esto explica que presenten valores de DBO de unos 180.000 mg/l. El problema no es sólo grave para España, sino para la mayor parte de los países ribereños del Mediterráneo, que generan un volumen de 20 millones de m^3 anuales.

Las industrias alimentarias de carácter ganadero son también fuertemente generadoras de residuos. Para llegar al producto comercial - lo que se denomina canales- hace falta separar cabezas, patas, piel, tractos digestivos y respiratorios, vísceras y parte de tejido graso, en una proporción equivalente al 25-50% del peso del animal vivo. Si a esto se añade que los canales tienen un porcentaje de hueso que oscila entre el 8-15%, y de tejido graso entre 20% y 40%, se comprende que los residuos brutos de industrias cárnicas superen con frecuencia el 50% del peso del animal vivo. Esto explica que, dado el bajo coeficiente de transformación de biomasa vegetal a biomasa animal, la preocupación por el aprovechamiento de los residuos ganaderos date de tiempo inmemorial, aunque haya ido mejorando con el progreso de las tecnologías.

Estos residuos están integrados, fundamentalmente, por agua, proteínas y grasas, con pequeñas cantidades de sustancias nitrogenadas no proteicas, como creatina y aminoácidos, ácido láctico, hidratos de carbono, como la glucosa - 6 - fosfato y el glucógeno, y sales inorgánicas. En el caso de residuos oseos las sales inorgánicas constituyen la fracción predominante (MADRID, A., 1.979) (LAWRIE, R.A., 1.977) (HAWTHORN, J., 1.981).

Pero las industrias cárnicas producen también efluentes acuosos de origen vario y de composición muy dispar, según procedencia, ya que arrastran restos muy diversos. El volumen generado oscila entre 0,3 y 2 m^3 por cabeza sacrificada, dependiendo de que se trate de ganado menor o mayor. Estas aguas, que contienen entre 3,5 y 4,5 gramos de residuo seco por litro y un nitrógeno total superior a 0,1 g/l, tienen una DBO del orden de 1.000 a 1.200 mg/l, lo que explica las cada día más exigentes limitaciones para su vertido.

3.- LOS RESIDUOS DE ORIGEN VITAL COMO PROBLEMA.-

3.1 - Consideraciones previas.-

La toma de conciencia sobre el carácter contaminante o insalubre de los residuos de origen vital, ha sido lenta, a pesar de ser conocido desde muy antiguo que su descomposición incontrolada, en condiciones semiaerobias, era foco de un buen número de enfermedades de vegetales, animales y, por supuesto, del hombre.

Da la impresión de que el carácter natural de los productos renovables, y las actividades agrícolas, forestales y ganaderas implícitas en su proceso productivo, les dejaba al margen de todo impacto contaminante. Parecía como si la Naturaleza, en sí misma, no fuera más que el objeto pasivo contaminado, pero nunca factor activo de las acciones contaminantes. Así, es fácil explicarse que los 114 MM de toneladas de residuos de origen vital que anualmente se producen en España, no hayan sido motivo suficiente para la promulgación de alguna Ley reguladora, mientras que sí lo han sido los 1,8 MM de toneladas de los denominados especiales. Es cierto que la toxicidad real de estos es muy superior, y también sus riesgos, pero no lo es menos la sustancial diferencia de las cantidades generadas. Es un fenómeno general. Basta repasar las Actas del Consejo Europeo (VIDO, L., 1.991) para observar que las Declaraciones del Consejo de los años 1.972 a 1.978 relativas al Medio Ambiente se referían a cuestiones de carácter general o a las derivadas del transporte, para ir progresivamente trasladando su preocupación a temas forestales y de erosión de suelos. Hubieron de transcurrir veinte años hasta llegar a la sesión de 25-26 de Junio de 1.990, para formular una Declaración, con el título de "El imperativo del Medio Ambiente", en la que se postula una acción compartida y eficaz sobre una serie de objetivos, entre los que figuran: "proteger los suelos de la erosión y de la desertificación, la conservación de los habitat, la fauna, la flora, el medio rural y otros elementos del patrimonio natural".

En honor a la verdad, hay que decir que la preocupación por los residuos vitales ha partido de los medios científicos, a pesar de su fuerte

componente económica, haciendo converger los problemas de la conservación de la naturaleza y el mantenimiento de unas condiciones higiénicas y saludables, con los de una economía de recursos. Ha sido entonces cuando han aflorado, con realismo, todo lo que este tipo de residuos tenía de problema, y el agravamiento de su impacto derivado de las nuevas formas productivas.

En líneas generales, los residuos de origen vital pueden ser promotores de tres tipos de contaminación: una contaminación biológica, surgida a través de los procesos de putrefacción; una contaminación agroquímica derivada de las nuevas tecnologías agrícolas y ganaderas, y una tercera, de alcance más reducido, procedente de la composición específica de algunos vegetales.

3.2 - Contaminación biológica.-

Es bien sabido que la producción de materias renovables tiene lugar a través de ciclos biogeoquímicos que se inician con la fijación fotosintética y se ultiman con la intervención de los denominados organismos simplificadores.

Con la fijación fotosintética, sustancias inorgánicas, gaseosas o en forma de vapor, se estructuran bajo la forma de complicadas moléculas orgánicas, que constituyen la base de la estructura celular, al mismo tiempo que, complementariamente, incorporan otros componentes inorgánicos, como fosfatos, carbonatos, etc., destinados a conformar la estructura osea de los consumidores primarios y secundarios. Los simplificadores, entre los que se encuentran hongos y bacterias, son los encargados de la descomposición o mineralización de las sustancias orgánicas residuales, o no utilizadas, por los diferentes eslabones tróficos de los consumidores, hasta moléculas inorgánicas sencillas, como CO_2, H_2O, NH_3, N_2, etc.; operación que realizan a través de procesos de fermentación y putrefacción (ALVARADO, R., 1.981). Durante el desarrollo de estos procesos los microorganismos patógenos pueden encontrar condiciones óptimas de temperatura, humedad y aireamiento para su proliferación. De esta forma los residuos de origen vital, se convierten en focos de procesos infecciosos,

tanto más virulentos y difíciles de combatir cuanto mayor sea la cuantía de los residuos acumulados.

De antiguo son conocidas las enfermedades de origen bacteriano, como la fiebre tifoidea, la gastroenteritis, el cólera, la tuberculosis o la botulitis, así como las de tipo vírico como poliomelitis, meningitis o hepatitis viral, procedentes y difundidas por residuos orgánicos en proceso de descomposición incontrolada. E, igualmente, tampoco se pueden olvidar las causadas por protozoos, como la amebiosis o la disentería.

El descubrimiento, a finales del siglo pasado, de que el bacilo de la difteria producía una toxina, abrió un campo de investigación que ha conducido al descubrimiento de un amplio número de sustancias tóxicas, liberadas al ambiente por los microorganismos a partir de sustratos lignocelulósicos, unas veces por rotura de la pared celular -endotoxinas-, y otras directamente de las células sin necesidad de su lisis -exotoxinas-.

Las endotoxinas bacterianas son, de ordinario, complejos antígenos que no constituyen un especial riesgo de toxicidad, aunque sí lo tienen las bacterias productoras, con alguna excepción como es el caso de la toxina producida por el **Clostridium Botulinum**, generadora del botulismo, enfermedad padecida por muchas aves y otros animales, siendo con frecuencia mortal. En el hombre produce parálisis de ciertas partes del sistema nervioso, llegando a la muerte por asfixia.

De la exotoxinas bacterianas, la enterotoxina producida por **Staphylococcus aureus** es uno de los principales responsables de vómitos, diarreas, nauseas y calambres abdominales, siendo normalmente la piel y la faringe los lugares preferentes de alojamiento.

Pero las toxinas no son sólo de origen bacteriano, sino que proceden también de hongos y algas.

Las micotoxinas suelen afectar más a los animales que al hombre, aunque la incidencia sobre éste no puede descartarse. Entre el centeno crecen un tipo de especies del género **Claviceps** que contiene una mezcla

de alcaloides generadores de una micotoxicosis denominada ergotismo, en la actualidad prácticamente desaparecida entre las poblaciones humanas, aunque alguno de estos alcaloides y drogas, como es el caso de la dietilamida del ácido lisérgico (LSD), es, como se sabe, uno de los más fuertes alucinógenos. Sin embargo, no ocurre lo mismo con las aflatoxinas, producidas por varios hongos, del tipo **Aspergillus**, sobre productos tales como cacahuetes mohosos, cocos, maíz y semillas de algodón, que suelen afectar al hígado y son carcinógenos muy poderosos. La forma más eficaz de combatir sus acciones es evitar que se produzcan.

La toxicidad de las aflatoxinas es de tal importancia que hay normativas internacionales, como más adelante habrá oportunidad de comentar, que condicionan el empleo alimentario de ciertos residuos en función de su contenido en aflatoxinas.

Se conocen otra serie de micotoxinas generadas por hongos que crecen sobre cereales húmedos y leguminosas, y, sobre los residuos de su cultivo, así como sobre diferentes tipos de herbáceas y hortícolas, sobre la paja, etc., que son responsables de leucemia, hemorragias, salivación excesiva, rigidez de articulaciones, dermatitis y faringitis, etc. Algunas de estas enfermedades afectan mucho más al ganado que al hombre, pero en ocasiones es este el más afectado, sobre todo con problemas de dermatitis y faringitis (DUFFUS, S.H., 1.983).

Sobre las toxinas algales habrá oportunidad de hacer algún comentario al hablar de la contaminación de aguas derivadas de residuos de origen vital.

3.3 - Contaminación agroquímica.-

Los residuos orgánicos, vegetales o animales, incorporan riesgos añadidos por las modernas tecnologías de la Agricultura y de la Ganadería. Los restos de pesticidas, en su enorme variedad de insecticidas, herbicidas, fungicidas, rodenticidas, desfoliantes, etc., los nitratos de los fertilizantes y residuos ganaderos, los metales pesados procedentes de los fertilizantes, del uso indebido de lodos de depuradoras urbanas o de otras

causas afines a la propia actividad agrícola, acaban apareciendo en los residuos de origen vital agravando los problemas y los efectos tóxicos derivados de su presencia (SHEETS, 1.980).

Los pesticidas en general, pueden pasar a los animales o al hombre por inhalación o ingestión, siendo absorbidos por la sangre para acabar localizándose en el cerebro, hígado y riñón, preferentemente. Los hidrocarburos clorados, como el DDT, DDD, DDE, lindane, aldrina, o lo bifenilos policlorados (PCB), felizmente en regresión de uso y prohibidos en muchos países, se caracterizan por sus elevadas vidas medias y sus posibilidades de concentración. La vida media del DDT, oscila entre 4 y 16 años, según las condiciones ambientales de humedad y del sustrato (FLORES, M., 1.981), y las tasas acumulativas a través de las cadenas tróficas pueden alcanzar valores entre 100 y 1.000 millones de veces, referidas al medio físico inicial.

Las aves se intoxican por ingestión de lombrices de tierra contaminadas, o a partir de restos orgánicos, donde generan enzimas destructoras de las hormonas femeninas, con lo que se inhibe el metabolismo del calcio dando lugar a huevos de cáscara muy fina, frágiles y difíciles de llegar a término, lo que, en último caso, se traduce en una caída de la población. Naturalmente, también es posible la muerte por intoxicación directa.

En los peces, las consecuencias son muy semejantes habiéndose comprobado que disminuyen su capacidad para soportar variaciones ambientales o carencias alimentarias. Un caso curioso es el de la pulga de agua, capaz de concentrar el DDT desde 0,5 p.p.b. hasta 50 p.p.m.; es decir 100 millones de veces.

En el hombre los efectos siguen sin estar muy claros. Se conoce su acumulación en los tejidos adiposos hasta alcanzar en el organismo concentraciones de 12 p.p.m., pero las alteraciones en la salud, normalmente de tipo gástrico o hepático, sólo se han observado entre los trabajadores de las plantas de producción, sospechándose que también puedan ser agentes carcinógenos. No obstante, hay también algunos insecticidas del tipo de los hidrocarburos clorados que causan daños al

cerebro y al hígado, esterilidad, pérdidas de memoria y alteraciones nerviosas, aunque para ello se requiere su exposición directa en las plantas de fabricación.

Los célebres y conocidos bifenilos policlorados no son productos de uso agrícola, pero pueden encontrarse en los residuos vitales, a través de diferentes vías, como puede ser la mecanización agraria, ya que se emplean en el revestimiento de frenos, en líquidos hidráulicos y en pinturas, entre otras aplicaciones, o bien por contaminación con otros residuos de origen industrial. Su persistencia y efectos son parecidos a los del DDT y se sospecha su acción sinérgica con éste.

A pesar de todo, conviene advertir que no todo han sido inconvenientes sanitarios, pues el DDT ha sido decisivo en la erradicación de enfermedades como el paludismo y la malaria en áreas tradicionalmente endémicas. El balance de su empleo hasta su prohibición ha de considerarse positivo.

El desarrollo posterior de compuestos organofosforados, carbamatos, tiocarbamatos y piretroides sintéticos ha disminuido, aunque no eliminado, sus riesgos, tanto por su más rápida metabolización por parte de los mamíferos, como por su menor vida media en los sustratos, en especial a pH básicos. No obstante, siguen ofreciendo riesgos, porque muchos de sus metabolitos son aún más tóxicos que el producto de partida, pudiendo llegar a originar convulsiones y temblores involuntarios, e incluso la muerte. Su acción es inhibir la acetilcolina estearasa, con lo cual se deja descontrolada la liberación de acetilcolina en los impulsos nerviosos.

Dentro de los carbamatos y tiocarbamatos nematicidas hay un grupo de componentes que, por ser sólidos, pueden estar presentes en los residuos orgánicos, y de los que se conoce su toxicidad para los mamíferos y probablemente para otros animales.

Algo análogo puede decirse de los fungicidas. Aunque los denominados organomercuriales están hoy muy restringidos, e incluso prohibido

su uso en muchos países, los ditiocarbamatos fungicidas, como ferbam, ziram, zineb, son muy utilizados en cultivos hortícolas, cuyos abundantes residuos son causa de su difusión más allá de los lugares de aplicación. La participación en su molécula de metales que pueden ser tóxicos, aumenta los riesgos de su presencia en los residuos, ya que la degradabilidad del producto original pierde significado en relación con las acciones perturbadoras de los metales.

El problema de los metales en el medio ambiente está adquiriendo connotaciones graves. Tras del importante avance que impuso el conocimiento del papel ejercido por los micronutrientes, se ha pasado a descubrir las situaciones de toxicidad de un gran número de metales, entre los que figuran parte de los micronutrientes cuando se encuentran en concentraciones más elevadas. Se les conoce con el nombre de metales pesados, en atención a su alto número atómico, aunque puede haber algunos de naturaleza no metálica, como es el selenio (MAILMAN, R.B., 1.980), y también los hay ligeros, como el berilio, de toxicidad comprobada por su competencia con el magnesio frente a determinadas enzimas.

Su presencia en los residuos de origen vital puede tener muy diferentes causas. La fertilización es una de ellas. En primer lugar la roca fosfórica empleada en la fabricación de superfosfatos contiene metales pesados, como el cadmio, en concentraciones de hasta 50 p.p.m. que acaba pasando al fertilizante. En segundo lugar, la sobre fertilización, o fertilización en exceso, en busca de mayores rendimientos, con productos comerciales que llevan micronutrientes, puede dar lugar a que éstos sobrepasen en el suelo los niveles deseables. Y en tercer lugar, y quizá sea el primero en importancia, la fertilización orgánica con lodos procedentes de depuradoras urbanas que pueden tener elevados contenidos metálicos. El alcance de la contaminación metálica por estos lodos, es de tal naturaleza que su aplicación hubo de ser regulada por la Directiva de la CEE 86/278 del año 1.986, trasladada a la normativa española mediante un Real Decreto de 1.990.

Otra de las causas de la contaminación metálica, de origen agrícola está en los plaquicidas, herbicidas, fungicidas, etc., del tipo de los tiocar-

bamatos y organomercuriales, ya citados, y de otros inorgánicos, como las diferentes especies de arseniatos o el sulfato de cobre.

Con todo, probablemente la fuente de mayor cuantía haya que situarla en la diseminación habitual de metales en el medio ambiente. No se puede olvidar que, en el caso más favorable, el reciclado de metales no alcanza más allá del 30% del arrancado de mina. Esto supone que de una tonelada de metal, al cabo de diez reciclados quedan en situación útil sólo 6 gramos. El resto ha sido diseminado y acaba depositándose sobre el medio de forma indiscriminada y aleatoria.

Sea cual fuere la causa de su presencia en el suelo, las raíces de las plantas absorben contenidos metálicos y los transportan a otras partes de la misma. Desde allí, su paso a los alimentos o a los residuos, es inmediato.

Son conocidos desde hace tiempo los envenenamientos por mercurio y plomo. El mercurio inhalado puede pasar de los pulmones a la sangre y al cerebro, produciendo daños en la vista, oído y sistema nervioso (CALVO, F.A., 1.975). Las intoxicaciones de plomo provocan vómitos, molestias gástricas, ulceraciones y anorexia (MUNICIO, A.M., 1.981). La absorción preferente tiene lugar por los glóbulos rojos desde donde pasa, primero, a hígado y riñón, y más tarde a los huesos y cerebro. El alojado en los huesos se inmoviliza, pero puede removerse por la acción de la fiebre o durante la vejez. Un aspecto de gran interés para el tema que nos ocupa es que también afecta a los microorganismos simplificadores de la materia orgánica, demorando el tiempo de su degradación.

El arsénico es otro viejo tóxico responsable de dermatitis y bronquitis, siendo carcinógeno para una buena parte del tracto digestivo. En general, causa vómitos, molestias graves de abdomen y finalmente, la muerte.

De conocimiento más reciente son las enfermedades producidas por cadmio, cobre, cromo, manganeso, níquel, estaño, vanadio, cinc, hierro, selenio, etc.

El cadmio parece que se asocia a las proteínas de bajo peso molecular y produce vómitos, diarrea, colitis, aún en dosis pequeñas, siendo en cantidades mayores causa de hipertensión y de muerte.

El cobre, usado en los tratamientos desinfectantes de los alojamientos de súsidos, puede ser motivo de toxicidad en las plantas y animales. Los envenenamientos de cobre, suelen afectar al cerebro.

El manganeso es responsable de calambres, temblores, neumonías y afecciones renales. El níquel produce dermatitis y perturba el sistema respiratorio hasta llegar al cáncer de pulmón. El cinc produce escalofríos, fiebres y nauseas. El cromo, en su valencia seis, ataca al hígado y el riñón. El selenio también es responsable de afecciones renales y de cáncer de hígado. El hierro, sin embargo, es poco tóxico, debido a que se absorbe poco por el tracto gastrointestinal. Sólo la inhalación de polvos de óxidos de hierro, que no es el caso de mayor riesgo en los residuos vitales, puede afectar al sistema respiratorio y ejercer acciones sinérgicas con varios cancerigenos (LUCKEY, D., 1.977). Por último el vanadio, puede llegar a coagular las proteínas del suero.

Dentro de este tipo de contaminación agroquímica hay que aludir también a algunos de los productos generados en la degradación microbiana de los residuos de origen vital. El amoníaco se genera en medio básico en la descomposición de las proteínas animales y vegetales. Pero también se producen nitratos, nitritos, quienes a partir de la flora intestinal pueden transformarse en nitrosaminas cancerígenas. Igualmente puede producirse aminas tóxicas, como la hidroxilamina que tiene carácter mutágeno.

Asimismo, se producen óxidos de nitrógeno. Se habla con preocupación de los contenidos de óxidos de nitrógeno en la atmósfera procedentes de procesos de combustión, cuando realmente la descomposición microbiana es el origen principal de los óxidos de nitrógeno en la atmósfera (STOKER, M.S., 1.976). Dígase, no obstante, para justificar esta preocupación, que lo que ocurre es que la fuente principal del dióxido de nitrógeno, que es el más agresivo, son precisamente las combustiones.

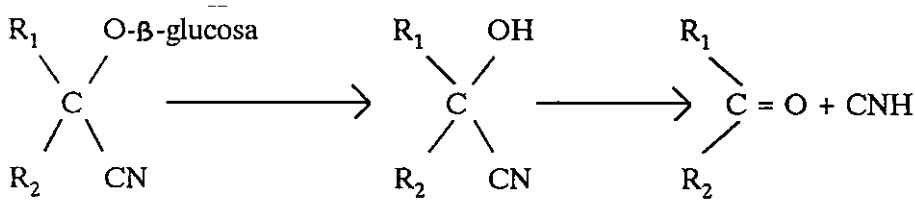
3.4 - Toxicidad de origen vegetal.-

Se conoce desde antiguo la existencia de plantas venenosas, que con frecuencia crecen en los habitat de cultivos herbáceos y plantas comestibles (FERNANDEZ-GALIANO, E., 1.981), que pueden llegar a producir la muerte.

Por ello, su presencia en los residuos de origen vital no es descartable, aunque posiblemente no sea frecuente.

El riesgo mayor procede de la ingestión directa de plantas venenosas que crecen entre los pastos, hasta el punto de que se estima constituyen el factor principal de las enfermedades y mortalidad en los animales.

El peligro en los residuos, puede proceder de plantas comestibles por el hombre, cuya acumulación de restos es obligada, especialmente en industrias conserveras vegetales. Tal es el caso de las leguminosas, con su contenido en glucósidos cianógenos, inicialmente atóxicos, pero susceptibles de liberar cianhídrido a través de una doble hidrólisis enzimática:



La cantidad de glucósido cianogénico se mide a través del CNH que puede liberar el glucósido. En la Tabla IX, aparecen algunos ejemplos.

TABLA IX

LIBERACION POTENCIAL DE CNH
POR LAS LEGUMINOSAS

Producto	mg. CNH/100 g. producto
Judías de lima	210 - 310
Guisantes	2,3
Judías	2,0

Para no alarmar al consumidor humano conviene advertir que estos productos tienen la facilidad de ser eliminados por cocción.

Algún género de guisantes tiene sustancias denominadas latirógenos, que son neurotoxinas que conducen a enfermedades irreversibles; y las habas tienen también otra toxina que produce una forma de anemia denominada fabismo. Ninguno de estos casos son frecuentes, pues a tales alteraciones sólo se llega cuando estos alimentos son los únicos que se consumen durante largo tiempo.

El ácido oxálico es de los componentes químicos de carácter tóxico más frecuentes en las plantas. Su capacidad para producir cálculos en el hombre es bien conocida. El peligro en los residuos puede radicar en su posterior uso en la alimentación animal, que pueden ser causa de enfermedades tales como hipocalcemia, tétanos o asfixia, según la variedad ingerida.

La relación que podría hacerse de productos tóxicos presentes en las plantas es muy extensa. Compuestos organofluorados, alcaloides, terpenos, etc., son sustancias responsables de un buen número de enfermedades que afectan al hígado, pulmón y riñón de muchos animales; y la lista se amplía continuamente en función de los nuevos conocimientos adquiridos sobre las relaciones entre estructura química y toxicidad.

Pero los problemas de la toxicidad química de origen vegetal, tienen también otras manifestaciones. Tal es el caso de las plantas que acumulan selénio y lo incorporan a la cisteina y a la metionina, en lugar del azufre, convirtiéndose en un tipo de sustancias altamente tóxicas; o bien las formadas por el metabolismo animal de los rumiantes a partir de otras no tóxicas (KEELER, R.F., 1.978), que acaban afectando al estado sanitario del ingestor.

El campo, pues, de la toxicidad química vegetal tiene todavía un buen camino que recorrer.

3.5 - Impacto sobre los subsistemas físicos.-

Parece claro, que los tres subsistemas físicos del medio natural - suelo, agua y aire- pueden afectarse gravemente por la presencia, transformación y degradación de los residuos de origen vital.

La presencia en el suelo de este tipo de residuos, da origen a la superposición de fenómenos de fermentación, no deseables, con el proceso de humificación propiamente dicho. Esto origina aumentos inadecuados de la población microbiana, patógena o no, y la consiguiente retención de nutrientes y de oxígeno por la misma, lo que a su vez se traduce en una disminución del nitrógeno del suelo, dificultando el desarrollo de las raíces. Y lo mismo sucede con los residuos ganaderos, cuyo uso agrícola ha requerido siempre un tiempo de almacenamiento en condiciones que, de hecho, se aproximaban a las de un compostado. La evolución de los sistemas productivos en agricultura y ganadería, hacen difícil este tipo de manipulaciones por parte del usuario.

A esto hay que unir la contaminación biológica de carácter patógeno, en ocasiones dotada de una cierta especificidad para el sustrato a causa de la presencia en el mismo de vectores concretos. Tal es el caso de la enfermedad de Lyme, denominada así por ser el nombre de la ciudad de USA donde se descubrieron los primeros casos y considerada en Francia enfermedad profesional agrícola (SAINT GIRONS, 1.990), por tener su radicación en los bosques. Posiblemente sea de origen viral y es transmi-

tida a través de ciertos tipos de garrapatas (LASTAVICA, C.C., 1.989).

Sin embargo, la contaminación agroquímica es, sin duda, de mayor alcance. Las sobredosis de fertilizantes contribuyen a mineralizar y salinizar el suelo, destruyendo el equilibrio materia orgánica-materia mineral, dejando al suelo en una situación más erosionable.

Con los pesticidas la problemática es mucho más aleatoria pues depende de las propiedades del producto y de las características del suelo. Cuando un pesticida llega al suelo puede ser arrastrado por el agua, descomponerse o permanecer más o menos estable, ejerciendo su acción continuada sobre los organismos y microorganismos del suelo.

Se estima que una de las rutas más importantes de descomposición de los pesticidas en el suelo es la de los microorganismos, gracias a su capacidad de metabolizarlos a través de procesos de oxidación, hidrólisis, rotura de cadenas, etc., siempre influidos por condiciones externas de temperatura, humedad, pH, contenido de ácidos húmicos, que no es posible generalizar. Mientras que hay dimetilfosfóricos que se hidrolizan con más facilidad en medio básico (JIMENEZ, S., 1.975), otros requieren medios ácidos. Bastan a veces pequeñas diferencias en la estructura química del producto para que no pueda ser metabolizado. El 2,4-D, por ejemplo, se metaboliza, y no lo hace el 2,4,5-T (FLORES, M., 1.981).

En los últimos años se están desarrollando interesantes trabajos para la degradación y mineralización de DDT y otros hidrocarburos clorados, sobre la base de inocular hongos blancos cuya capacidad para degradar hidrocarburos ya ha sido comprobada. Por el momento se ha demostrado que la mineralización es posible, aunque lenta (BUMPUS, J.A., 1.987).

La descomposición química o fotoquímica está influída por la fracción coloidal del suelo quien con su capacidad de absorción favorece la velocidad de las reacciones de lisis y las acciones catalíticas de ciertos iones metálicos como el hierro, el aluminio y el magnesio.

La fracción no descompuesta mantiene su acción sobre los organismos y microorganismos del suelo de forma diferenciada, de manera que la microflora y microfauna tiende a desequilibrarse en el sentido de incrementarse la población más resistente. Los fungicidas, por ejemplo, tienden a aumentar la población bacteriana, y no sólo por disminución de la fúngica, sino porque se pone a disposición de aquella mayor sustrato alimenticio, al mismo tiempo que se disminuye la producción de los antibióticos generados por hongos.

Los microorganismos amonizantes se muestran resistentes a la acción de los herbicidas e insecticidas, en tanto que los nitrificantes son seriamente afectados. Esto produce una descompensación y una cierta toxicidad amoniacal al no nitrificarse el amonio producido. Sobre las bacterias fijadoras de nitrógeno -Azotobacter, Rhizobium- suelen ejercer una acción depresiva e igual ocurre con las desnitrificantes.

Como se puede apreciar se trata de una larga casuística que no hace sino poner de manifiesto la incertidumbre del comportamiento que puedan tener sobre el suelo los restos de pesticidas presentes en los residuos de origen vital.

Los diferentes contaminantes -biológicos o agroquímicos- no degradados en el suelo acaban, en su mayor parte, en el agua subterránea, superficial y en último caso, en el mar.

La contaminación orgánica procedente, en parte, de los residuos vitales, junto con la agroquímica de fertilizantes, conduce a la eutrofia, que no es otra cosa que el quiebro de la capacidad autodepuradora, por pérdida del oxígeno disuelto que es consumido por los excesivos procesos de fermentación. Al mismo tiempo, el aporte de fertilizantes favorece la proliferación de algas, cianofíceas en las aguas dulces y pirrofíceas en las marinas. Las cianofíceas liberan toxinas fuertemente tóxicas para los animales y en menor grado para el hombre, aunque responsables de dermatitis, gastroenteritis y problemas respiratorios. En el mar, las predominantes son las pirrofíceas, responsables de la marea roja y que aportan toxinas que se acumulan en organismos de consumo humano, como los

mejillones y almejas.

Se ha hablado mucho del poder bactericida del mar, y en efecto lo tiene. La salinidad, la presencia de metales pesados y, sobre todo, la radiación solar UV y visible, ejercen un fuerte papel en este sentido (GAUTHIER, M.J., 1.990). Pero hace muy pocos años parece haberse descubierto la capacidad de las bacterias patógenas, al igual que las autóctonas marinas, para adaptarse al medio, mediante un cierto letargo, como respuesta a las condiciones desfavorables, en especial frente a la carencia de alimentos, lo que resta al medio marino poder bactericida y le convierte en transmisor de un buen número de enfermedades (COLWELL, R., 1.987).

Basten, pues, estos datos para dar unos apuntes puntuales del alcance de la contaminación orgánica en el subsistema agua.

El aire es, sin duda, el menos afectado por los residuos de origen vital. Los impactos más acusados de la contaminación del aire tienen su origen en fuentes distintas a este tipo de residuos.

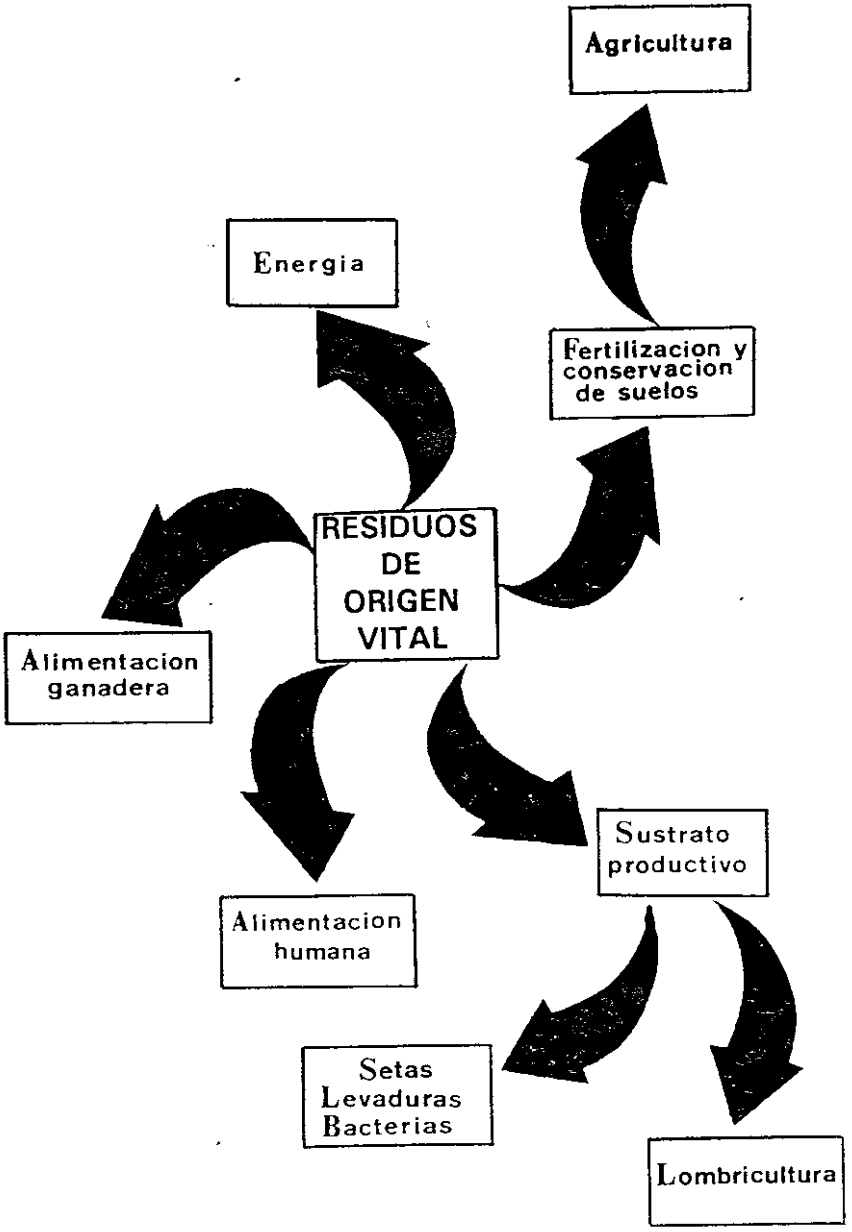
En el aire existen contaminantes de origen vegetal como son granos de polen, esporas y hongos, que sólo en pequeña parte proceden de los residuos vitales.

Sin duda, la participación más significativa de los residuos vitales en la contaminación del aire hay que situarla en la liberación de las bacterias, hongos y mohos, que proliferan en el sustrato, así como en los productos gaseosos liberados en la putrefacción.

En medio anaerobio, o escasamente aerobio, los productos gaseosos emitidos son amoníaco, metano y sulfuro de hidrógeno, junto con el anhídrido carbónico, agua y óxidos de nitrógeno generados por aerobiosis. Los de acción más perturbadora -amoníaco, metano y sulfuro de hidrógeno- son comunes con los emitidos por otras fuentes naturales (DETRIE, J.P., 1.969), aunque en ese caso puedan ir acompañados de ácidos volátiles liberados en los procesos fermentativos.

Igualmente, los pesticidas, fertilizantes y óxidos metálicos, pueden ser arrastrados a la atmósfera bajo la forma de partículas, pero, sin duda, su proporción es muy inferior a la procedente de las propias prácticas agrícolas e, incluso, de la erosión natural del suelo.

No obstante, sus acciones puntuales, pueden dejarse sentir de forma notable y, sobre todo, desagradable -malos olores- por efecto de su acumulación, aunque su participación global en la contaminación atmosférica no sea demasiado significativa.



OPCIONES PARA SU ELIMINACION, TRATAMIENTO Y REUTILIZACION

4.- OPCIONES PARA SU ELIMINACION, TRATAMIENTO Y REUTILIZACION.-

La degradación de las condiciones higiénico-sanitarias del medio a que da lugar el impacto contaminante de las biomasas residuales sobre el suelo, el agua y, en menor grado, el aire sería motivo más que suficiente para estudiar su eliminación. Pero hay otras causas, de carácter ético o moral, que superan el objetivo de la mera eliminación para llegar al de agotamiento de las capacidades potenciales de uso de lo que hoy son residuos.

Se trata, en suma, de colaborar con los organismos simplificadores en la más rápida ejecución de los ciclos biogeoquímicos, partiendo del hecho cierto de que ya no hay bienes mostrencos o "nullios" y que los bienes patrimoniales de origen natural son, en la práctica, bienes acensuados por el conjunto de seres vivos presentes y futuros.

No es objeto de este discurso el planteamiento sociológico del problema, que indudablemente lo tiene, sino científico y técnico. Pero no por ello se puede soslayar el hecho de que instalados en una sociedad de consumo, la durabilidad de un bien, y su conversión en residuo, no depende muchas veces del agotamiento de su uso, sino de las incitaciones al consumo. Es esta una cuestión acientifica de mentalización social y que ya tuvieron resuelta nuestros antepasados, para los cuales cada residuo era un material usable o utilizable en algo.

La conciencia social de que el uso de recursos naturales debe ir acompañado de la mínima utilización posible de los mismos, es una condición previa a toda planificación estratégica sobre las opciones de tratamiento y reuso de residuos, pues, por lo pronto, se conseguirá un primer objetivo: la disminución de los generados.

Esto supúesto, las opciones de tratamiento de la biomasa pueden situarse dentro del amplio campo comprendido entre su simple eliminación por combustión y su conversión en productos susceptibles de incorporarse a los ciclos biogeoquímicos.

La eliminación por combustión es práctica generalizada para todos aquellos residuos con capacidad de quemarse. La quema de rastrojos sobre el propio campo de cultivo ha sido tradicional, pues tenía la ventaja de devolver al suelo buena parte de las sales inorgánicas no volátiles exportadas por las plantas. Pero el fuego no es un buen aliado del suelo: Coagula coloides, destruye materia orgánica, incluida la microflora y la microfauna, elimina volátiles decisivos para el desarrollo radicular, modifica el pH, le hace perder porosidad y capacidad de retención de agua, etc. A todo ello hay que añadir las pérdidas energéticas, el consumo de oxígeno y las emisiones de CO_2 y de vapor de agua a la atmósfera.

Si se tiene en cuenta que este tipo de residuos son materiales separados del ciclo de producción-consumo-simplificación de la biomasa, las opciones de tratamiento deben plantearse en el sentido de su devolución al ciclo de la forma más rápida posible.

En la fig. -2- aparece un esquema representativo de las opciones. Con los residuos de biomasa vegetal -agrícolas y forestales- caben tres posibilidades: retornarlas a la producción vegetal, forzar su uso para el consumo ganadero o destinarlos a la producción de energía y/o productos químicos. Las dos primeras posibilidades suponen un reciclado a las etapas previa y posterior a su generación. Con los residuos ganaderos la situación es muy análoga, ofreciendo la variante de su posible autoconsumo que, en principio, abrevia en grado máximo el camino del reciclado.

La opción energética, junto con la obtención de productos químicos, a veces simultánea, es conocida de antiguo, habiendo sido, prácticamente, abandonada a lo largo de este siglo ante la disponibilidad de los combustibles fósiles y el desarrollo de los procesos catalíticos de síntesis; pero experimentó de nuevo un gran impulso a partir de las crisis petroleras de los años 73 y 78. Sorprendentemente el interés e impulso investigador, decayó entrada la década de los 80, aunque hay que suponer que la reciente conciencia conservacionista de recursos, obligará a salir de este letargo.

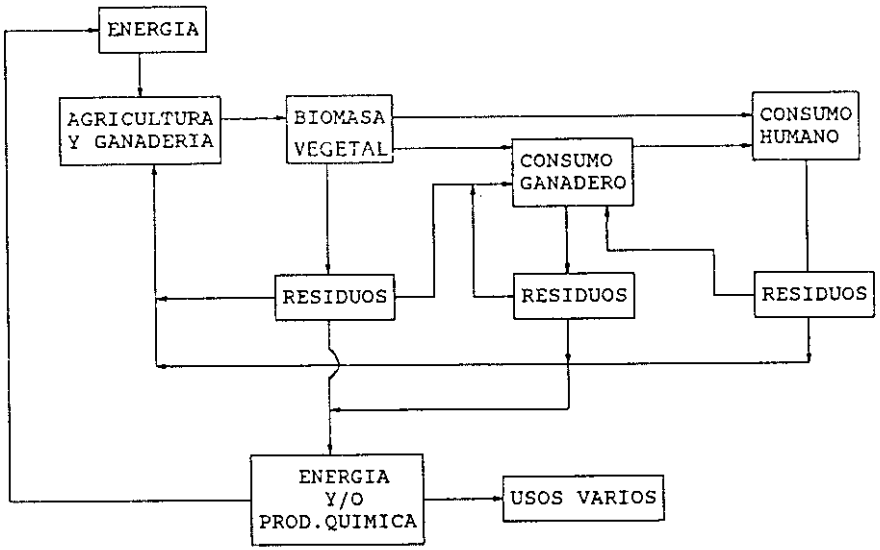


Fig -2- Líneas de reciclado de residuos de origen vital

En síntesis puede decirse que hay tres posibilidades de tratamiento y beneficio de los residuos de origen vital:

a) Obtención de energía y productos químicos.
b) Devolución a la producción agraria.
c) Alimentación ganadera.

Pero todavía es posible hablar de dos más:

d) Sustrato productivo.
e) Alimentación humana.

El empleo como substrato productivo es, de hecho, una variante de su devolución a la producción agraria o a la alimentación ganadera, pero ofrece unas características tan peculiares y, en ocasiones, tan heterogé-

neas que requiere algún tipo de diferenciación. La producción de setas mediante cultivos en sustratos residuales, la producción de lombrices, o el cultivo de bacterias, son directrices de trabajo que están experimentando un impulso que no se puede silenciar.

Más complejo es, sin duda, el empleo de residuos en la alimentación humana; pero tampoco se puede omitir, porque son casos que se están dando en áreas subdesarrolladas o de desarrollo incipiente, con independencia que desde antiguo sea conocido el uso alimentario de levaduras obtenidas a partir de productos residuales. Otra cosa distinta es que pueda plantarse el interrogante de si, estratégicamente, conviene, dados los fuertes incrementos de la producción agraria y los problemas estructurales que se derivan de los excedentes.

Pero el tema no es descartable desde una perspectiva conservacionista. No se puede olvidar, por sólo citar un aspecto, que estos incrementos de producción agrícola comportan prácticas que aumentan las demandas energéticas. La elevación del coste energético, o su más limitada disponibilidad, puede tener una gran incidencia en el rendimiento de los cultivos, sólo contrarrestable por un aprovechamiento más eficiente de las biomasas; es decir, disminuyendo los residuos.

El 16 de Octubre de 1.990, celebró la FAO su 45 aniversario, y con él el 10º día Mundial de la Alimentación bajo el lema "Alimentación para el futuro", lo cual es todo un símbolo.

La FAO es consciente de que dentro de sus enormes logros, ha llegado, sin embargo, a una situación contradictoria: de una parte, hay excedentes alimentarios, y de otra, existen al menos 500 millones de seres infralimentados. La causa está en que los hambrientos radican en países que ni producen alimentos, ni tienen capacidad de compra. La búsqueda de nuevas fuentes alimentarias a partir de biomasas hoy no utilizadas por el hombre, parece, pues, una necesidad.

Con independencia de que esta opción pueda ser aceptada en mayor o menor grado, lo cierto es que existen una serie de alternativas para

el tratamiento y reciclado de la biomasa residual, que no son excluyentes entre sí, sino que, con frecuencia, pueden plantearse de forma complementaria e incluso simultánea.

Otra cuestión es el problema de la rentabilidad y coste de los procesos. Pero tampoco esto debe ser una limitación, si la estrategia de tratamiento se establece tras una adecuada identificación de los residuos, de la evaluación de necesidades del área geográfica en que se generan, y de los análisis de viabilidad técnica y económica de los procesos de tratamiento disponibles, en función de las carencias que se aspire a cubrir.

5.- ENERGIA Y PRODUCTOS QUIMICOS.-

5.1.- Antecedentes y tipos de procesos.-

Las biomasas agrícolas y forestales, residuales o no, han constituido el combustible tradicional de la humanidad hasta finales del último siglo y, sorprendentemente, todavía en la actualidad la mayor parte de la madera suministrada por los bosques no está dedicada a la construcción, mobiliario y pasta de papel, sino a satisfacer necesidades energéticas. Más de 1.500 millones de personas dependen de la biomasa vegetal. En algunos casos, como en Malawi, Mozambique o Tanzania la dependencia energética de la biomasa es de alrededor del 90%; la media en el continente africano está próxima al 60% y en América Latina es el 20%. Se explica así que las deforestaciones anuales alcancen a 11 millones de Ha, a pesar de la elevada productividad primaria. La recuperación energética de los residuos de origen vital es, por tanto, uno de los objetivos primarios en los procesos para su reutilización.

Pero, además, la riqueza en cuanto a composición química de los residuos vegetales y la disponibilidad de técnicas separativas, abre el camino a la obtención de un amplio número de productos químicos que van desde el metano, hasta los más complejos como furfural, aldehido siringico, vainillina, adhesivos, etc., pasando por otros más tradicionales como polifenoles, metanol, etanol, polisacaridos, monosacaridos, etc. (G. VAZQUEZ, 1.984).

En la fig. 3 se esquematizan las rutas de tratamiento de las biomasas residuales para su conversión en productos útiles.

La vía térmica ofrece, a su vez, una serie de variantes en función de la proporción de oxígeno incorporado al proceso, con el resultado de obtener una serie de productos muy diversos, todos, susceptibles de utilización energética o química.

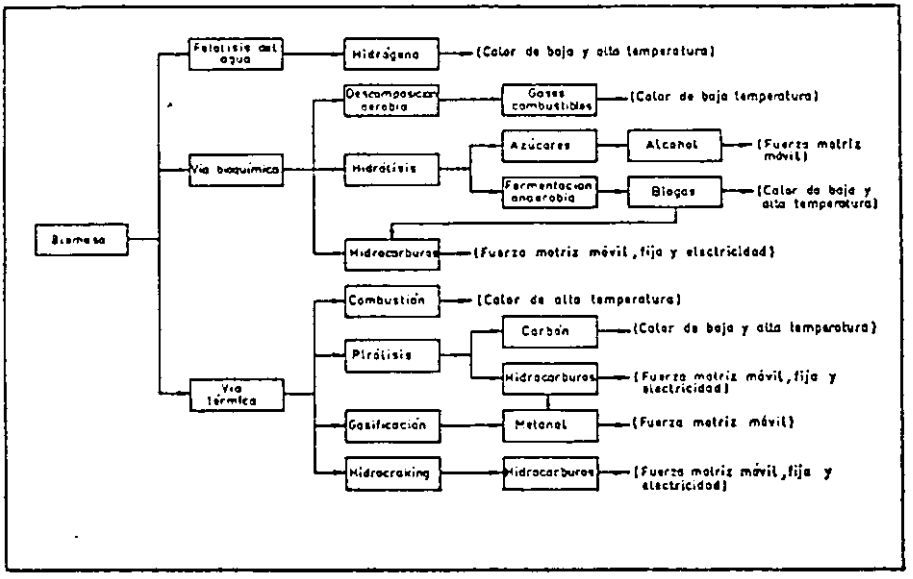


Fig. 3. Esquema de las diferentes vías de aprovechamiento de las biomasas residuales y de sus aplicaciones.

La vía bioquímica conduce, fundamentalmente, al denominado biogas, que es una mezcla de CH_4 y CO_2, a etanol y a hidrocarburos, aunque conviene advertir que no todas las rutas son exclusivamente bioquímicas, puesto que hay procesos de hidrólisis de la celulosa o de eliminación de ligninas de naturaleza estrictamente química.

Por último, una simple referencia testimonial a la producción biológica de hidrógeno, mediante la biofotólisis del agua, cuyo desarrollo real no puede esperarse en lo que resta de siglo, dada la lentitud con que progresan los trabajos de investigación sobre el tema. Hay determinadas algas cianofíceas y bacterias fototróficas capaces de utilizar electrones de alto potencial, que producen hidrógeno molecular a través de enzimas hidrogenasas y nitrogenasas (DADAY, 1.977):

$$2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2$$

Uno de los microorganismos más estudiado ha sido el Rhodospirillum rubrum, con el que se ha demostrado la viabilidad de la producción continua durante un largo tiempo (SANTA MARIA, J. 1.982) (ASADA, Y. 1.986), obteniéndose producciones de 65 ml. de H_2 por hora y litro de cultivo.

En el proceso, lógicamente, se genera O_2 que se invierte en la oxidación de materia orgánica, produciéndose CO_2. Y es precisamente para aporte de esta materia orgánica donde se pueden emplear los residuos agrícolas. Se estima que optimizando las condiciones experimentales, podría llegarse a una producción de 130 ml. de H_2 por hora y litro de cultivo, a partir de la cual quizá pudiera pensarse en una producción comercial.

El tema se encuentra lejos de una realidad práctica; pero es apasionante porque se trata de una conversión casi directa de la luz del sol en hidrógeno, con eliminación simultánea de biomasa residual.

El problema de la biomasa como materia prima es su dispersión. Su reunión es esencial para conseguir la mínima economía de escala para competir con otras materias.

5.2.- Procesos térmicos y químicos.-

5.2.1.- Combustión.-

La combustión directa de residuos agrícolas o forestales es, sin duda, el procedimiento más antiguo para su aprovechamiento energético. Su eficacia está muy condicionada por los altos contenidos de humedad que, en los casos más favorables, nunca se encuentran por debajo de un 15-20%. Las innovaciones realizadas en este campo tienen su mayor virtualidad en los equipos y nuevas tecnologías de combustión, cual es el caso de los hornos de lecho fluidizado, que hacen posible adecuar los procesos a los objetivos y a las materias primas disponibles, adaptar capacidades, generar directamente electricidad o vapor, o ambas cosas a la vez -proceso conocido como cogeneración-.

Si embargo, las limitaciones en el suministro de residuos requiere una disminución radical de la capacidad de las Centrales Eléctricas convencionales. Los 500 a 1.000 MW de éstas deben reducirse a poco más de 30 MW, e incluso menos. En U.S.A., funcionan ya Centrales Térmicas con capacidad entre 10 y 50 MW que consumen residuos forestales y de industrias madereras en mezcal con fuel, en proporción de 75% y 25%, respectivamente, sin que el contenido de humedad supere el 60%, pues de lo contrario el aporte energético del residuo es inferior al requerido para la vaporización del agua. En Hawai hay una instalación con capacidad del 124 MW, que proporciona el 9% de la energía total consumida, quemando una mezcla de bagazo de caña de azúcar y fuel, en proporción de 80% y 20%, respectivamente (BECK, S.R. 1.980). La eficiencia térmica de estos procesos rara vez sobrepasa el 20-22%.

La producción de vapor a partir de residuos está más extendida y la eficiencia térmica suele ser mayor, aunque varía según las condiciones en que se precise obtener. En la Tabla X aparecen los datos relativos a los supuestos de producción electricidad o vapor a 30 ata y 300º C, a partir de 1 t de madera, con un contenido de humedad en 44-45%.

TABLA X

CONVERSION ENERGETICA POR COMBUSTION DE RESIDUOS DE ORIGEN VITAL (Humedad: 44-45%)

Productos y pérdidas	Producción de Electricidad	Producción de vapor
Productos de partida madera húmeda:	2.650×10^3 Kcal	2.650×10^3 Kcal
Electricidad:	----------	36×10^3 Kcal
Productos obtenidos		
Electricidad	565×10^3 Kcal	----------
Vapor	----------	2.044×10^3 Kcal
Pérdidas:		
Gases	564×10^3 Kcal	567×10^3 Kcal
Cenizas	3×10^3 Kcal	3×10^3 Kcal
Agua refrigeración .	1.391×10^3 Kcal	----------
Otras	127×10^3 Kcal	72×10^3 Kcal

El rendimiento térmico en el caso de la producción de vapor es notablemente más alto, pero hay que tener presente que en la posterior conversión del vapor én otro tipo de energía se ha de producir una nueva pérdida.

La cogeneración, o producción simultánea de vapor y electricidad, es, posiblemente, la de mayor interés, aunque la distribución energética está fuertemente desplazada hacia el vapor, con un 95%, en tanto que se destina a electricidad sólo un 5%. (JIMENEZ, S. 1.982).

Sin embargo, y como es lógico, la cuestión no está exenta de dificultades. El diseño de proceso exige un buen conocimiento de los contenidos relativos de humedad, materia orgánica y cenizas. El contenido de cenizas tiene un amplio margen de variabilidad en las biomasas residuales, entre un 4% en los residuos forestales y un 30% en determinados residuos ganaderos. Por otra parte, la composición de las cenizas limita las temperaturas de operación a causa de los problemas que pueden derivarse de su fusión y formación de escorias.

Asimismo, la fracción orgánica debe ser identificada con bastante rigor, pues la rapidez de gasificación de celulosa y hemicelulosa es bastante mayor que la de lignina y proteína (STAMM, S.J. 1.956), lo que puede originar deficiencias de combustión. Igualmente, pueden volatilizarse productos contenidos en los residuos o generados durante la combustión, tales como residuos pesticidas, líquidos volátiles de pirolisis, etc., que pueden ser tóxicos si escapan con los humos de combustión. Pero todos ellos son problemas superables mediante el adecuado diseño de la instalación y de las condiciones de proceso. Sin embargo, hay otros, inherentes a la propia naturaleza de la materia, como son su menor poder calorífico y densidad aparente, respecto de combustibles como el carbón, que obliga a que, para un mismo aporte térmico se requiera un volumen cuatro veces superior, lo que puede suponer una fase previa de densificación en los puntos de generación para evitar una incidencia exagerada en el transporte.

5.2.2.- Gasificación.-

La gasificación de los residuos de origen vital es otro proceso térmico de amplias posibilidades para la eliminación y aprovechamiento de este tipo de biomasas. La gasificación, en términos generales, es una combustión en defecto de aire con producción de CO, CO_2, H_2, CH_4, C_2H_2, C_2H_6, etc., en proporciones diversas, según la composición de la materia de partida y de las condiciones de proceso.

Por gasificación pueden obtenerse dos productos energéticos, G.N.S. (gas natural sintético) e I.B.G. (gas de poder calorífico medio), así como una serie de productos químicos, como metanol, etileno -que también son productos energéticos- y amoníaco. El problema es el precio.

La corriente gaseosa de gasificación arrastra pequeñas cantidades de SH_2, N_2, ClH, cenizas volantes y gotas de aceite, que deben ser separadas en mayor o menor grado según el destino posterior del gas, pues, por ejemplo, la obtención de metanol precisa una eliminación del SH_2 hasta concentraciones inferiores a 0'2 p.p.m.

Según las condiciones de proceso se llega a G.N.S. o I.B.G., si bien el primero precisa, además, de la conversión catalítica del CO en CO_2 y la previa separación de éste para favorecerla. El balance energético, en uno y otro caso sobre la misma base y criterios de los supuestos anteriores, aparece en la Tabla XI.

TABLA XI

CONVERSION ENERGETICA, POR GASIFICACION DE RESIDUOS DE ORIGEN VITAL (Humedad: 44-45%)

Productos y pérdidas	Producción de I.G.B.	Producción de G.N.S.
Productos de partida:		
Madera húmeda	2.650 x 10^3 Kcal	2.650 x 10^3 Kcal
Productos obtenidos:		
I.B.G.	1.892 x 10^3 Kcal	----------
G.N.S.	----------	1.670 x 10^3 Kcal
Pérdidas:		
Cenizas	21 x 10^3 Kcal	25 x 10^3 Kcal
Enfriamiento	538 x 10^3 Kcal	830 x 10^3 Kcal
Otras	199 x 10^3 Kcal	125 x 10^3 Kcal

El mayor rendimiento del I.B.G. no es, sin embargo, definitivo ya que este sólo tiene un poder calorífico de unas 2.300 Kcal/m^3, frente a las 8.400 Kcal/m^3 que tiene el G.N.S.

La obtención de metanol es, sin duda, la posibilidad de conversión química de mayor interés futura. En la gasificación se producen H_2, CO_2 y CO, gases todos ellos de partida para fabricar metanol:

$$CO + 2H_2 \rightleftharpoons CH_3OH; \Delta H = -21{,}4 \text{ Kcal.}$$

$$CO_2 + 3H_2 \rightleftharpoons CH_3OH + H_2O; \Delta H = -11{,}6 \text{ Kcal.}$$

Esto supone que el gas de síntesis debe acomodarse a una relación:

$$\frac{H_2}{2\,CO + 3\,CO_2} = 1{,}1$$

Lo que exige una serie de tratamientos conducentes a disminuir el

contenido de CO_2, sin agotarle, toda vez que el valor de la relación a la salida de gasificación vale alrededor de 0,21.

El metanol, aparte de su valor como producto químico, se puede emplear como carburante de automoción, puro o en mezclas con gasolina. Hace mucho que es conocido su uso en pruebas de motores o en competición.

Su uso en mezclas con gasolina (ALLSUP P.J.R. 1.978) ha demostrado que sólo un 10% en la mezcla aumenta el índice de octano en 4 a 5 unidades, siendo al mismo tiempo mucho menos contaminante que la gasolina, al disminuirse las emisiones de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y monóxido de carbono. Sin embargo, se pierde potencia calorífica.

Aunque la eficiencia energética puede variar según el proceso y la biomasa residual utilizada, se incluye a continuación (Tabla XII) un balance energético, sin duda muy optimista, establecido sobre las mismas bases que en los casos anteriores.

TABLA XII

CONVERSION EN METANOL DE RESIDUOS DE ORIGEN VITAL (Humedad: 44-45%)

Productos de partida		**Productos obtenidos y pérdidas**	
Clase	Kcal	Clase	Kcal
Madera húmeda	2.650×10^3	Metanol	1.390×10^3
Electricidad	25×10^3	Enfriamiento	1.070×10^3
		Cenizas	24×10^3
		Otras pérdidas	191×10^3

Este menor rendimiento energético, en comparación con los otros procesos térmicos, no es una cuestión básica para el empleo de biomasas

residuales en la obtención de metanol, pues sería claramente compensada por las posibilidades que ofrece como combustible de automoción. Su limitación fundamental está en el costo, que es unas tres veces mayor que cuando se utiliza gas natural.

Otro producto recuperable de la gasificación de biomasas es el etileno, cuyo contenido en la corriente gaseosa es bajo, y no parece que sea suficiente para su recuperación, a pesar de las afirmaciones que en tal sentido hacen algunos autores. Contenidos de un 10-15% en la corriente gaseosa podrían justificar el uso de métodos crioscópicos (HIPKIN, H.J. 1.978) para una recuperación económica.

El serrín y residuos de ganado vacuno (BECK, S.R. 1.979) parecen ser las biomasas residuales de más elevado rendimiento; el tema no ha salido todavía de los laboratorios de investigación pero habrá que prestarle atención en un futuro inmediato.

El amoníaco, es, por supuesto, otro producto que puede obtenerse a partir del hidrógeno contenido en la corriente gaseosa, pero no parece que sea opción más adecuada dado el exceso de producción mundial y el menor costo con que puede fabricarse a partir de otras materias primas.

5.2.3.- Pirólisis.-

Una tercera vía térmica de tratamiento de biomasas residuales, es su pirólisis. Consiste en la descomposición térmica en ausencia del aire, y sus antecedentes pueden encontrarse en la destilación seca de la madera para obtener metanol y ácido acético.

La propia concepción de la pirólisis exige un aporte térmico que puede proceder del propio material residual, lo que comporta una combustión previa del mismo y limita, por tanto, las biomasas residuales a utilizar a que no sobrepasen un cierto contenido en humedad.

En toda la pirólisis se generan unos productos gaseosos combustibles, otros líquidos, igualmente combustibles, y carbón vegetal; no obs-

tante, con frecuencia se reduce a sólidos y líquidos, ya que los gaseosos suelen emplearse en autoconsumo.

Los líquidos combustibles producidos se emplean en gran parte para mezclarlos con los residuos de biomasa para favorecer el proceso de pirólisis, utilizándose sólo el 5% de los líquidos totales. De esta manera, por cada tonelada de residuos tratados se obtienen 0,2 t. de líquidos con un poder calorífico superior de 6.700 Kcal/Kg., y 0,25 t. de carbón vegetal con un poder calorífico superior a 7.300 Kcal/Kg.

Las olefinas presentes en los productos de gasificación y pirólisis de las biomasas residuales pueden ser utilizadas también, para la producción de gasolinas, a través de procesos de polimerización catalítica. (KLIESTER, J.L. 1.979). Como siempre el problema es el coste.

5.2.4.- Licuación.-

Los métodos de licuación del carbón han inspirado un cuarto tipo de métodos, cuyo desarrollo es aún incipiente pero con prometedoras posibilidades, basado en la licuación de los residuos para obtener combustibles líquidos. A diferencia de la licuación del carbón, basada en una hidrogenación catalítica, la de las biomasas residuales se funda en una desoxigenación catalítica empleando para ello el CO generado en el propio tratamiento térmico del residuo. Los combustibles líquidos obtenidos tienen la fórmula empírica $CH_{1,16}O_{0,25}$, por lo que se comprende que los residuos forestales sean los más idóneos para esta clase de procesos, pues si su fórmula empírica es $CH_{1,27}O_{0,83}$, basta una desoxigenación.

$$CH_{1,27}O_{0,83} + 0,58\ CO \rightleftarrows CH_{1,27}O_{0,25} + 0,58\ CO_2$$

El esquema del proceso aparece en la fig -4-; sin embargo, su ejecución no es sencilla. De una parte, precisa realizarse a humedad constante para evitar reacciones parásitas de conversión del vapor de agua que modificarían tanto el rendimiento en combustibles líquidos como la cantidad y composición de los gases. De otra, la separación y enriqueci-

miento del CO con destino a la gasificación de la biomasa es compleja pues requiere un doble tratamiento criogénico y con tamices moleculares.

El combustible obtenido tiene un poder calorífico de unas 7.000 Kcal/Kg y equivale a una recuperación energética de 50-55%, pero el método debe superar todavía muchas barreras.

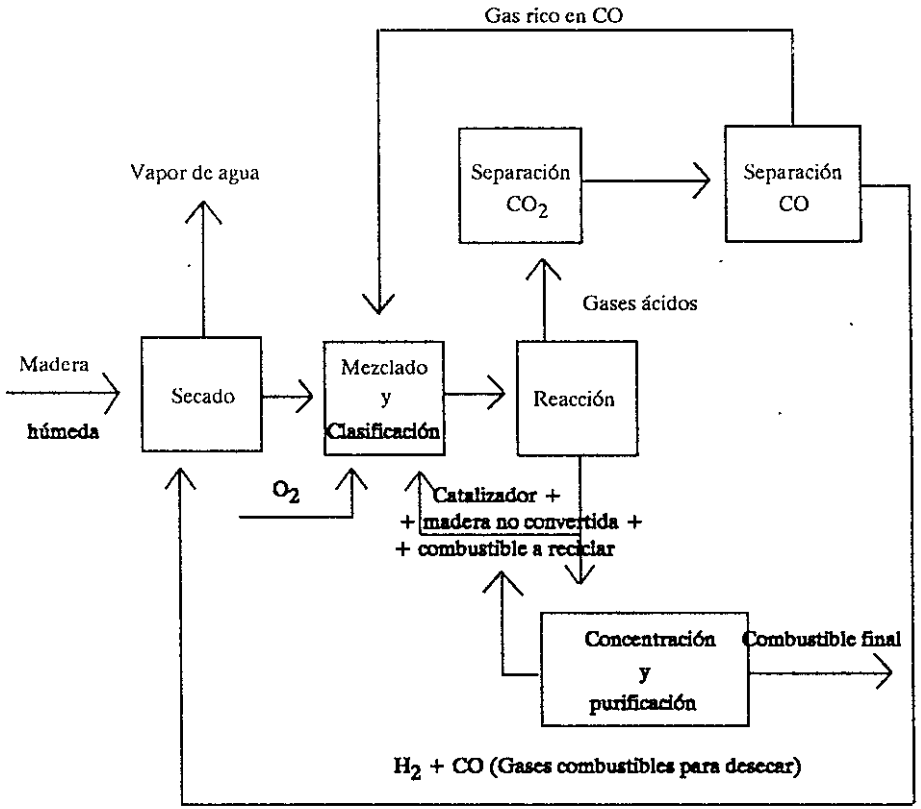


Fig. 4.- Obtención de combustibles líquidos

5.3.- Métodos bioquímicos.-

5.3.1.- Fermentación etílica.-

Le fermentación etílica es un proceso conocido desde hace milenios, aunque los trabajos para identificar y discernir el mecanismo íntimo sean bien recientes y se han desarrollado al amparo del impulso recibido por la microbiología industrial.

Desde épocas remotas se sabe, pues, que la fermentación de diferentes tipos de azúcares permite obtener disoluciones hidroalcohólicas a partir de las cuales, y por destilación, se llega a etanol de mayor o menor grado de riqueza. Monosacáridos como fructosa, galactosa o manosa, disacáridos como la sacarosa y polisacáridos como el almidón, conducen por fermentación a etanol. Durante las dos guerras mundiales Alemania utilizó alcohol como combustible, obtenido a partir del almidón de patatas y realizó intentos para obtenerlo a partir de celulosa. Sólo la fácil oferta petrolera de las décadas posteriores a la Segunda Guerra Mundial determinó el abandono de tales intentos y de los procesos fermentativos, desplazándose hacia el uso, casi exclusivo, del etileno como materia prima del etanol.

Pero ahí están los antecedentes, para que ahora puedan ser usados partiendo de residuos de origen vital.

El mayor inconveniente para obtener etanol a partir de estos residuos está en la escasa disponibilidad en los mismos de azúcares fermentables. Sin embargo, su componente celulósico es susceptible de ser despolimerizado mediante un proceso de hidrólisis conocido como sacarificación.

De todos los componentes celulósicos la alfa-celulosa es la más idónea para la sacarificación, pues conduce sólo a glucosa:

$$(C_6H_{10}O_5)_n + n\ H_2O \rightleftarrows n\ C_6H_{12}O_6$$

La fermentación etílica es, pues, subsidiaria de la sacarificación.

El enorme tamaño molecular de la celulosa -pues "n" vale entre 1.000 y 5.000-, junto con su específica conformación, hacen que sea un producto de gran estabilidad frente a las acciones químicas y enzimáticas. En efecto, la celulosa aparece en los vegetales en forma de cadenas lineales paralelas y, como las unidades elementales tienen estructura de silla, los grupos -OH entre moléculas vecinas se encuentran muy próximos, dando lugar a que, en algunas zonas, se formen enlaces por puentes de hidrógeno lo que le dota de una cierta estructura cristalina que, a su vez, determina una pérdida de reactividad. Además, la lignina, inútil como producto sacarificable, ejerce una acción protectora sobre la celulosa que coadyuva con la cristalinidad a la inercia reactiva, por lo que su mayor o menor contenido en la biomasa residual afecta a la cinética de sacarificación.

La hidrólisis de la celulosa puede realizarse por dos vía: enzimática y química.

La hidrólisis enzimática es muy atractiva, tanto por su especificidad como por la suavidad de las condiciones en que se realiza. Sin embargo, la inercia de reacción obliga a un pretratamiento de carácter químico, a fin de liberar las hemicelulosas, con hidrólisis simultánea de las mismas, para generar los monosacáridos estructurales, en general pentosas.

Los pretratamientos químicos se hacen con álcalis o con ácidos inorgánicos diluidos. Pero la cuestión no es sencilla y está siendo objeto en la actualidad de múltiples estudios. Los tratamientos alcalinos conducen a una liberación demasiado rápida de la lignina, quedando la alfa-celulosa expuesta a una más fácil degradabilidad, con el consiguiente riesgo de hidrólisis parcial y pérdida de hexosas. De aquí que la mayor parte de los trabajos se refieran a tratamientos con ácidos inorgánicos diluidos (FAN, L.T. 1.982) (FANG, M.M. 1.981). Sin embargo, muy recientemente (ELSHAFEI, A.M. 1.991), se insiste en los tratamientos alcalinos, porque permiten elevar las concentraciones del substrato lignocelulósico.

Pero, posiblemente, sean los pretratamientos con vapor a presión los que despierten mayor interés en los momentos actuales (AGUILERA, J.M. 1.985) (BROWNELL, M.H. 1.987) (MORJANOFF, P.J. 1.987). Por la acción del vapor se liberan ácidos orgánicos volátiles, fundamentalmente acético, a partir de los radicales acetilo de las hemicelulosas, dando origen a una autohidrólisis ácida de las mismas, que desdobla sus enlaces glicosídicos, y los de tipo éter de la lignina. Si a esto se añade que al final del proceso el sistema se somete a una descompresión rápida, se logra una rotura estructural de la pared celular, dejando al substrato más accesible para las enzimas.

Todavía existen otros sistemas de tratamiento previo como es la molienda (RYU, D.D. 1.982) y la reacción con peróxido de hidrógeno (TAGAKY, M. 1.987).

En la hidrólisis enzimática propiamente dicha también se están haciendo progresos muy notorios, tanto por el conocimiento de la acción de las enzimas celulasas y hemicelulasas sobre el sustrato para la producción de azúcares, como por el empleo de un variado número de bacterias y hongos generadores de las enzimas. Las Cellulomonas bacterianas y el Trichoderma viride (MANDEL, M. 1.969) eran los de uso más frecuente, pero se han ido incorporando otros como Penicillum funiculosum (MISHRA, C. 1.984) o el Aspergillus terreus (GARG, S.K. 1.982) con los que se consiguen rendimientos de sacarificación superiores al 50%, después de un pretratamiento alcalino.

Un hecho muy significativo fué comprobar que las celulasas estaban integradas por diferentes tipos de enzimas, cuyo número y concentración varía con el origen y del cuál depende, además, la capacidad para romper las cadenas de celulosa en polisacáridos de cadena más corta, en el disacárido celobiosa y en glucosa. El mecanismo catalítico se inicia por la adsorción de la celulasa sobre la celulosa, siendo este el proceso más lento; de aquí que las concentraciones de ambos sean factores determinantes de la velocidad de la hidrólisis.

Los variados intentos para interpretar la biodegradación de la ce-

lulosa tropiezan con muchas dificultades por la multiplicidad de los sistemas enzimáticos y la naturaleza heterogénea de los materiales celulósicos entre sí.

Por todo ello, a pesar de los progresos realizados y de las prometedoras perspectivas de los métodos enzimáticos, los métodos químicos no se han quedado a la zaga, pues la mayor agresividad de los reactivos permite disminuir los tiempos de reacción, a parte la mayor sencillez de los procesos.

En general, se trata de una hidrólisis con ácidos clorhídrico o sulfúrico, cuyas variantes suelen basarse en que la operación sea continua o discontinua, en la previa separación o no de los azúcares C_5, pentosas, o en el uso de cloruro de hidrógeno gaseoso.

Al igual que en la hidrólisis enzimática, suelen seguirse tratamientos de prehidrólisis y, en ocasiones, otros de posthidrólisis.

La prehidrólisis con ácido clorhídrico es muy rápida y la liberación de las hemicelulosas puede realizarse a temperatura ambiente. Los inconvenientes están en el elevado coste del ácido y en su corrosividad.

Cuando se usa ácido sulfúrico, la prehidrólisis se hace en dos etapas. La primera, a temperaturas de 100-140ºC con concentraciones bajas de ácido (0,2 a 2%) y en presencia de metanol para inhibir la hidrólisis de las alfa-celulosas, permite separar los azúcares C_5. La segunda se hace con ácido sulfúrico al 70%, durante un tiempo muy breve y a temperaturas de 170-240ºC. Tiene por objeto romper la estructura cristalina e iniciar la despolimerización de la celulosa hasta índices del orden de 130, y también requiere la presencia de metanol para evitar pérdidas de alfa-celulosas.

Por último la etapa de hidrólisis se realiza también con ácido sulfúrico, pero al 0,5%, por lo que en la práctica no precisa adición de ácido, sino de agua, ya que lo contiene en cantidad suficiente la pulpa de celulosa-lignina. Se obtiene, así una disolución de glucosa del 20%, con rendimientos de conversión próximos al 97%, de la cual la glucosa se

precipita con metanol, que después es reciclado junto con el ácido sobrante.

La hidrólisis ácida continúa teniendo muchas limitaciones. Una de las más importantes es la falta de especificidad, ya que a pesar de los tres tratamientos con diferentes concentraciones de ácido, de la eliminación del residual en cada una, del control de la humedad en el sustrato y del empleo de metanol para limitar las pérdidas de glucosa, entre los productos de reacción aparecen, junto con la glucosa, dimeros, como la celobiosa, o incluso polímeros algo superiores, productos de hidrólisis de la hemicelulosa, así como aldehídos y cetonas procedentes de la rotura y degradación de los monómeros de azúcar.

De aquí que la búsqueda de disolventes o agentes de tratamiento selectivos para la celulosa, continúe siendo un objetivo de primordial interés, a fin de evitar los tratamientos químicos con ácidos muy concentrados.

A escala de laboratorio se han ensayado productos como el cadoxeno (que es una mezcla de óxido de cadmio y etilendiamina en suspensión acuosa), o mezclas de tartrato sódico, cloruro férrico, hidróxido sódico y sulfato sódico, con resultados espectaculares, aunque su implantación tecnológica continúa condicionada por la posibilidad de recuperar y reciclar los reactivos económicamente.

La fermentación etílica de las disoluciones azucaradas obtenidas en los tratamientos hidrolíticos no es un proceso exclusivo de las biomasas residuales, sino que, como se sabe, se aplica a los mostos de uva y otros jugos azucarados. Por ello no se hubieran precisado aquí mayores comentarios, de no ser porque en los últimos años, se están descubriendo una serie de hechos que pueden modificar, en sentido altamente favorable, el rumbo de los procesos hidrolíticos.

En efecto, la extracción previa de la fracción hemicelulósica era absolutamente imprescindible, porque su hidrólisis a las temperaturas requeridas para la de la alfa-celulosa, generaba productos tóxicos para los

microorganismos responsables de la fermentación alcohólica. Tal es el caso del furfural que se libera a partir de la xilosa. Por otra parte, hasta hace muy poco no se conocía la posibilidad de transformar la xilosa en etanol.

Las primeras noticias sobre la viabilidad de su conversión directa en etanol, aparecen en 1.981 (SCHNEIDER, H. 1.981) (SANTA MARIA, J. 1.982) (SLININGER, P.J. 1.982) (BRUINENBER, P.M. 1.983). En general los rendimientos obtenidos eran bajos a causa de la excesiva dilución del azúcar en la disoluciones a fermentar, lo cual conduce a unos contenidos de etanol, cuya destilación es, a todas luces, antieconómica.

Posteriormente se han descrito diferentes levaduras, como la Pachysolen tannophilus, Pichia stipitis, Candida shehatae, que mejoran notablemente los rendimientos, pero con la particularidad de que la glucosa inhibe la fermentación de la xilosa, cuyo proceso sólo se inicia tras la desaparición de aquella (PREEZ, J.C. 1.986) (KASTER, J.R. 1.990).

Esta situación tiende a resolverse mediante la inducción de las enzimas responsables de la fermentación de la xilosa antes de la incorporación de la mezcla de azúcares, o bien añadiendo la glucosa a intervalos de tiempo variables a lo largo del proceso fermentativo. De esta forma se han llegado a obtener disoluciones de 22 g/l de etanol en 33 horas de fermentación (BALLESTEROS, M. 1.991).

Esta forma operativa no evitará la prehidrólisis, pero, al menos, permitirá el aprovechamiento de los azúcares de las hemicelulosas y conseguir un mayor contenido en etanol en las disoluciones hidroalcohólicas, lo cual constituirá un avance importante.

En todo caso, la auténtica revolución está en los intentos de conseguir microorganismos que, de forma simultánea e indiscriminada, fermenten ambos tipos de azúcares, pues ello daría paso a la supresión de la fase prehidrótica, aliviando la economía del proceso en los puntos en la actualidad más críticos.

De lo que en un futuro más o menos inmediato pueda lograrse en

esta línea, depende, con toda probabilidad, que se pueda disponer de un procedimiento de eliminación de residuos de origen vital, que, además, proporcione un importante producto químico, utilizable como combustible.

5.3.2.- Metanización.-

La fermentación metánica de las biomasas residuales es un tratamiento anaerobio profundamente estudiado durante los últimos años, en atención a una serie de factores altamente valorables en los medios rurales.

En efecto: admiten residuos orgánicos de composición heterogénea, se pueden diseñar equipos en pequeña escala y de gran sencillez operativa, de aplicación en granjas unifamiliares, inertizan los microorganismos patógenos, y las fracciones sólidas y líquidas, no metanizadas, pueden ser reusadas en la agricultura como enmienda orgánica o por sus valores fertilizantes.

Robert Boyle en 1.683, puso en evidencia la liberación de gases a partir de residuos animales y vegetales, y un siglo más tarde, Volta hizo notar la naturaleza anaeróbica del proceso, denominando al gas "aire inflamable". Sin embargo, su identificación como metano no tuvo lugar hasta final del siglo pasado, comprobándose que estaba también presente en el denominado gas de los pantanos, en el gas grisú y en el rumen de los rumiantes.

Globalmente, el proceso puede representarse así:

$$C_nH_aO_b + \left(n - \frac{a}{4} - \frac{b}{2}\right)H_2O \rightleftharpoons \left(\frac{n}{2} - \frac{a}{8} + \frac{b}{4}\right)CO_2 + \left(\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4}\right)CH_4$$

Sin embargo, la transformación tiene lugar en diferentes etapas, sobre cuyo número -dos, tres o cuatro- los diferentes autores no terminan de ponerse de acuerdo, aún cuando ello no tiene, por el momento, demasiada importancia ya que todos los intentos de realizar por separa-

do cada una no han conducido a resultados claramente evaluables como positivos.

En cualquier caso, la primera etapa consiste en la hidrólisis y descomposición de la materia orgánica, mientras que en la siguiente, o siguientes, tienen lugar los procesos de acidificación y metanización.

La descomposición inicial de los carbohidratos conduce a la formación de mono y disacáridos, que, en condiciones anaeróbias, se convierten en ácido pirúvico. Después, y dependiendo de los organismos presentes, a partir del ácido pirúvico se producen cuatro tipos de reacciones en la que se forman:

a) Acido láctico.
b) Acido acético + Acido butírico + Etanol + Butanol + posiblemente, Acetona.
c) Alcohol etílico.
d) Acido acético + Acido fórmico.

Las grasas bajo condiciones anaeróbias, se convierten en glicerina y ácidos grasos. La glicerina se transforma, después, en ácido pirúvico, siguiendo las rutas indicadas.

Los ácidos, por su parte, se convierten en los más sencillos, fórmico, acético y propiónico.

Por último, las proteínas se hidrolizan a aminoácidos, liberando amoníaco que se fija por los ácidos orgánicos y por el CO_2, disminuyendo la proporción de este en el biogas resultante. (HOBSON, P.N. 1.984).

Mediante el marcado isotópico con C^{14} se ha podido comprobar que el ácido acético proviene del alcohol y el metano del anhídrido carbónico:

$$2CH_3 - CH_2OH + CO_2 \rightleftharpoons 2CH_3 - COOH + CH_4$$

$$CH_3 - COOH \rightleftharpoons CH_4 + CO_2$$

Naturalmente, esto implica la necesidad de bacterias diferentes, pues mientras las celulíticas rompen los polímeros celulósicos, sin afectar a la lignina, las acidogénicas generan alcoholes y ácidos, las acetogénicas a partir de estos dan ácido acético, que, por último, las metanogénicas convierten en metano y anhídirdo carbónico (VALLES, S. 1.980) (fig-5):

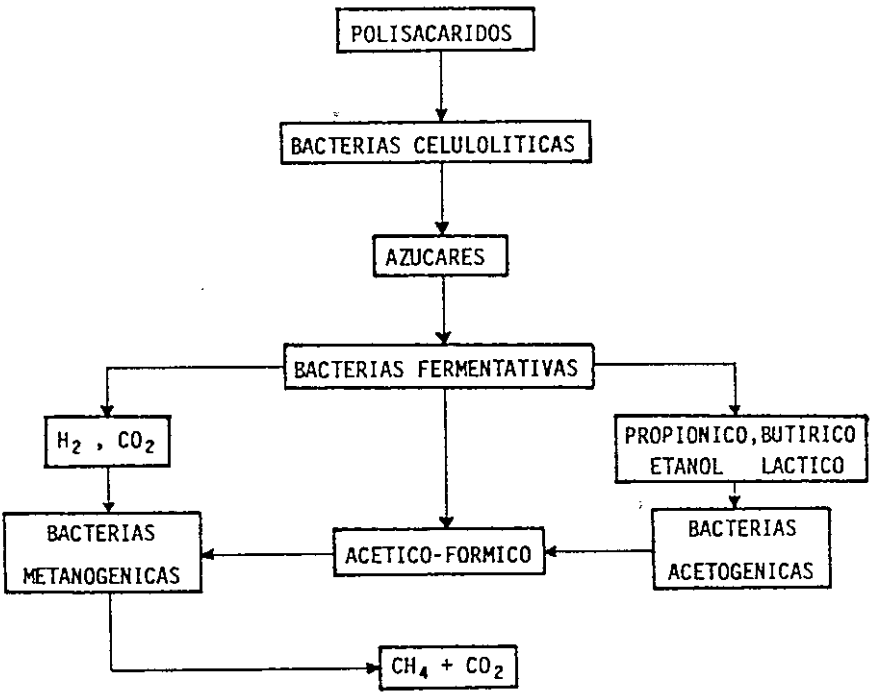


Fig. 5. Esquema de la acción de las bacterias que intervienen en el proceso de digestión anaerobia.

$$CH_3 - CH_2 - COO^- + 3H_2O \rightleftharpoons CH_3 - COO^- + CO_3H^- + H^+ + 3H_2$$

$$CH_3 - CH_2 - CH_2 - COO^- + 2H_2O \rightleftharpoons 2CH_3 - COO^- + H^+ + 2H_2$$

Para que estas reacciones ocurran es preciso que la concentración de hidrógeno sea muy baja, lo cual obliga a la acción simultánea de las metanogénicas:

$$CO_3H^- + H^+ + 4H_2 \rightleftarrows CH_4 + 3H_2O$$

que consuman el hidrógeno producido.

Se puede operar en tres intervalos de temperatura: Psicrofilico: < 25ºC; Mesofilico: 25-40ºC y Termofílico: superior a 45ºC, siendo el mesofílico el más estudiado, pues el psicrofílico es muy lento y el termofílico descompensa mucho el balance energético (ROSS, E.M., 1.984) (LLAMAS, B.J.F., 1.982) (DEMEYER, A. 1.985). No obstante la obligada eliminación de ciertos gérmenes patógenos, puede requerir regímenes termofílicos (HASHIMOTO, A.G., 1.979).

Teóricamente, pues, la descomposición anaerobia de 162 gramos de celulosa, supuesto un rendimiento del 100%, debieran producir 100 litros de un gas, integrado por metano y anhídrido carbónico. La realidad es que los rendimientos están entre el 60-75%, y que la composición de los gases está enriquecida en metano, debido a que parte del CO_2 se fija con el amoníaco procedente de las proteinas o por su disolución en agua.

La composición media del gas que se obtiene de un proceso metanizante es:

Metano	50-60%
Hidrógeno	1-3%
Anhídrido carbónico	35-45%
Oxígeno	0,5-1%

Su poder calorífico inferior está próximo a las 5.000 Kcal/m^3,

superior al del gas ciudad, aunque inferior a las 9.000 Kcal/m^3 del gas natural. Pero se puede llegar con relativa facilidad a un gas con un contenido en metano del 95% y un poder calorífico de 8.000 Kcal/m^3.

La fijación recíproca de CO_2 y NH_3 en los efluyentes del proceso y el mantenimiento en éstos del resto de los nutrientes -nitrógeno, fósforo, etc.- contenidos en la biomasa residual inicial, permite su aprovechamiento fertilizante, sin riesgo de contaminación ya que durante la anaerobiosis se destruyen los microorganismos patógenos.

El principal inconveniente de este sistema estriba en la lentitud de acción de las bacterias celulíticas. El problema es, pues, muy análogo al de la sacarificación: la estructura cristalina de la celulosa y la presencia lignina, que bloquean las zonas de acción enzimática.

Por otra parte, la lignina se ha considerado siempre como no metalizable, pero mediante la rotura molecular, con álcalis, se logra algún grado de metanización (COLBERG, P.G. 1.985), habiéndose llegado, incluso, a comprobar que la fracción metanizada aumenta con la disminución del tamaño molecular.

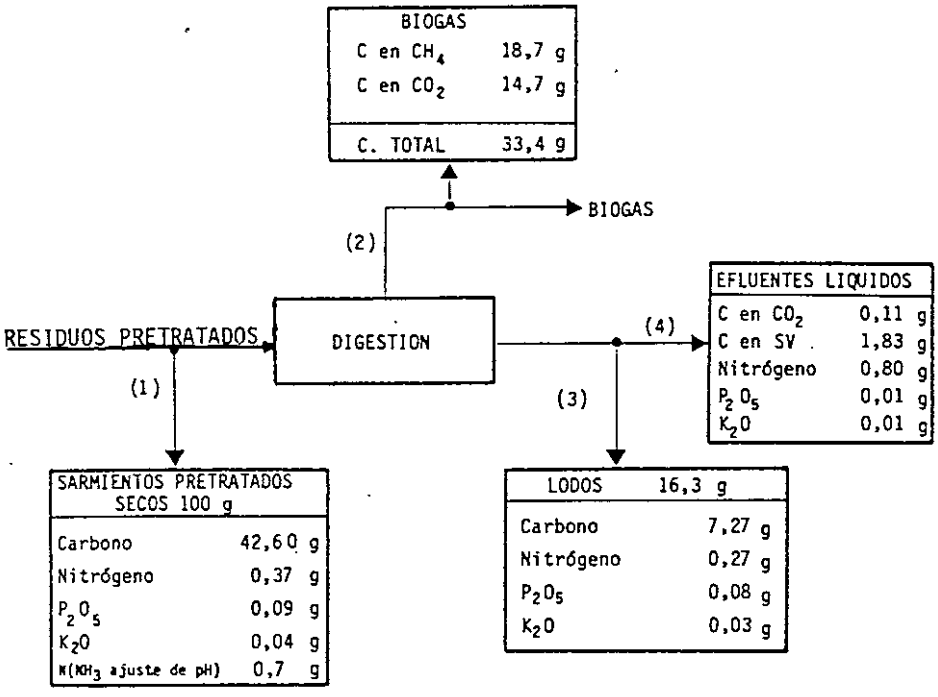
En trabajos realizados en el Departamento de Química de la E. Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, en colaboración con la Dra. Cartagena Causapé, hemos podido comprobar que, con independencia de que la lignina pueda ser o no metanizable, su presencia en el residuo lignocelulósico disminuye el rendimiento del proceso, como puede verse en la Tabla XIII (JIMENEZ, S., 1.989 a; 1.989 b; 1.990).

TABLA XIII
INFLUENCIA DE LOS PRETRATAMIENTOS SOBRE EL RENDIMIENTO DE METANIZACION

Concepto	Residuo lignocelulósico tratado	
	Residuo bruto	Residuo pretratado
Celulosa inicial degradada, %	53,5%	81,5%
Volumen de biogas producido /g de sólidos iniciales	0,33 l.	0,64 l
Volumen de CH_4 producido /g de sólidos iniciales	0,19 l.	0,33 l

Estos pretratamientos se realizaron con clorito sódico, y los resultados no dejan lugar a duda de la acción bloqueante de la lignina.

Por otra parte, y como se puede ver en el balance de materias en la fig. -6-, en el biogas se recupera más del 75% del carbono aportado, repartiéndose el resto, junto con los nutrientes inorgánicos, en los lodos y en la corriente de efluentes líquidos, ambas utilizables como fertilizantes o enmiendas de suelos.



Productos	CORRIENTES (•)				
	1	2	3	4	TOTAL 2 + 3 + 4
Carbono	42,60	33,40	7,27	1,94	42,61
Nitrógeno	1,07	-	0,27	0,80	1,07
P_2O_5	0,09	-	0,08	0,01	0,09
K_2O	0,04	-	0,03	0,01	0,04

(•) Cifras expresadas en gramos

Fig. 6. Esquema del balance de nutrientes para residuos pretratados

5.3.3.- Fraccionamiento de biomasas residuales lignocelulósicas. Productos químicos varios.-

Las limitaciones económicas que generalmente presentan los procedimientos anteriores, sólo pueden superarse si se logra convertir las biomasas residuales en materia prima de productos químicos de alto valor añadido. En este sentido se están desarrollando procesos con los que se pretende fraccionar los tres componentes fundamentales, lignina, hemicelulosas y celulosas, para después, a partir de ellos, obtener productos químicos comercializables con ventaja, en atención a su precio actual de mercado.

El Batelle-Geneva (SACHETTO, J.P. 1.987), ha diseñado un método aplicable a residuos agrícolas y forestales, en el que en una primera etapa se separa la lignina y la hemicelulosa con una disolución acuosa de fenol acidificado, a la temperatura de 100ºC y presión atmosférica. En estas condiciones, el fenol es totalmente miscible con la fase acuosa, lo que permite separar la fracción celulosa por simple filtración. Durante el enfriamiento de la fase líquida se produce una separación de fases fenol-agua, llevando la primera la lignina y la segunda las pentosas de las hemicelulosas. Por último se separa el fenol de la fracción hidrofoba, y se recircula al proceso.

De esta manera, de las pentosas solubilizadas se pueden obtener después furfural, resinas furánicas, xilol, aminoácidos, proteinas monocelulares (SPC), etc.

La celulosa, además de poder sacarificarse con facilidad, puede ser destinada a obtener papel, viscosa, éteres y ésteres celulósicos, etc.

Y a partir de la lignina, por último, se pueden obtener fenol, resinas fenólicas, polímeros diversos, agentes de superficie, combustibles, etc.

El proceso tolera el uso de residuos con contenidos de agua hasta un 40%, por lo que su aplicación más importante estaría en los residuos forestales. Tiene, no obstante, el inconveniente de su consumo energético,

para el que no sería suficiente la combustión de la lignina, y la corrosividad del ácido clorhídrico que se emplea como acidificante.

6.- RECICLADO CON FINES AGRICOLAS.-

6.1.- Antecedentes y posibilidades.-

El reciclado de residuos orgánicos al suelo agrícola es una práctica antiquísima. Hace más de 4.000 años que los chinos buscaban abonos naturales para reponer a los suelos del valle del río Amarillo "aquello" que era consumido por la planta. Cientos de años después, Cato hace notar el valor del estiércol, y Columela, en el siglo I, escribe su Tratado "De Re Rústica", que aún merece ser consultado. Palissy, ya en el siglo XVI, insiste en el valor del estiércol, aunque relacionándolo con las sales solubles que contiene. Pero quizá fuera Liebig -considerado como creador de la Química Agrícola- quien por haberse polarizado hacia el papel de los nutrientes inorgánicos, hiciera perder alguna perspectiva al significado de la materia orgánica en la producción vegetal y en el equilibrio ecológico de los suelos.

La observación de que, pese a los fertilizantes sintéticos, los suelos perdieran productividad ha renovado el interés por la materia orgánica.

En la actualidad, los conocimientos edafológicos han venido a demostrar que el suelo no es sólo soporte suministrador de nutrientes, sino que constituye un sustrato vivo en el que se suceden procesos físicos, químicos, biológicos y microbiológicos, fundamentales para el desarrollo de los cultivos.

El suelo requiere nutrientes inorgánicos, junto con una serie de componentes que mejoren su estructura; y, dentro de estos, la materia orgánica, y más concretamente los compuestos húmicos, ejercen un papel preeminente.

Los niveles de nutrientes inorgánicos en el suelo -macro y micro- disminuyen con las carencias de materia orgánica ya que ésta se comporta como agente de liberación lenta y al faltar se favorece la lixiviación y emigración de aquellos. Pero, además, la materia orgánica constituye la fuente de alimentación de los microorganismos del suelo, que, entre otras

misiones, hacen posible la asimilación de los nutrientes. La materia orgánica en un suelo es un guardián frente a la desertificación. Sólo esta circunstancia sería razón suficiente para vigilar su contenido y promover su aporte, dadas las alarmantes cifras que están facilitando los organismos internacionales sobre las superficies mundiales desertificadas o en riesgo de ello.

En España el déficit de materia orgánica en los suelos es grave y preocupante, pues el contenido medio no supera el 1%, mientras que se considera que un suelo de secano debe de contener al menos 1,7% y para regadío más del 3,4%. Esto supone que, como mínima dosis de reposición, harían falta unos 400 millones de t. para todo el territorio español, a las que después habría que añadir las de mantenimiento de cada año.

Parece evidente que los residuos de origen vital junto con la fracción orgánica de los R.S.U., han de constituirse en la fuente suministradora de los mismos.

Pero, como ya se ha apuntado, este tipo de residuos, tal como se generan, no son directamente aplicables al suelo, sino que es necesario someterles a un proceso previo de adecuación, conocido como compostado, durante el cual se produce una degradación biológica de los polímeros lignocelulósicos, transformándose en humus, que es una mezcla de ácidos húmicos y fúlvicos, compuestos más sencillos, pero a pesar de todo complejos, pues sus unidades estructurales están constituidas por un núcleo aromático, quinónico o fenólico, y cadenas periféricas alifáticas.

El empleo de residuos ganaderos ha sido tradicional en al agricultura. Pero ello se hacía después de un tiempo de almacenamiento en condiciones que, de hecho, se aproximaban a las de un compostado. La evolución de las formas de producción ganadera, e incluso agrícolas, hace difícil este tipo de almacenamientos, mucho más masivos y expuestos a riesgos contaminantes. Por lo mismo, los residuos ganaderos, solos o en mezclas con los agrícolas y forestales, son susceptibles de compostado, durante el cual ultiman la humificación, e incluso favorecen la de los sustratos más ricos en componentes lignocelulósicos.

Sin embargo, los residuos ganaderos están mucho más evolucionados al estar formados por una materia orgánica muy degradada a través de la digestión animal. Esto, unido a su variado estado de agregación-líquidos, sólidos y pastosos- puede permitir, su aplicación directa a los suelos, siempre con las adecuadas precauciones.

Sea cualquiera la vía de reciclado que pueda seguirse, la realidad es que este tipo de biomasas residuales no sólo aporta materia orgánica, sino los nutrientes tradicionales, N, P_2O_5 y K_2O. En la Tabla XIV, aparecen, a título de ejemplo, los contenidos más frecuentes, de estos nutrientes en algunos residuos.

TABLA XIV

CONTENIDO DE NUTRIENTES EN RESIDUOS DE ORIGEN VITAL

Residuo	% N	% P_2O_5	% K_2O
Agrícolas o forestales	0,5-2,5	0,5-2,2	0,1-2,4
Estiercol vacuno	0,5-2	0,2-1,2	0,4-1,0
Estiercol equino	0,5-1,8	0,1-0,9	0,3-1,0
Estiercol súsido	0,6-1,2	0,4-0,8	0,1-0,6
Estiercol ovino	0,5-2	0,3-1,3	0,1-0,6
Estiercol gallina	1,7-3,2	1,9-3,8	1,5-2,2

Evidentemente, estos contenidos no son suficientes para reponer las exportaciones de los cultivos, pero permiten aminorar las cantidades aportadas por los fertilizantes de síntesis en, al menos, un 3%.

En este punto, hay que hacer notar la existencia de una serie de residuos, principalmente de mataderos, con contenidos elevados de nutrientes, como puede apreciarse en la Tabla XV.

TABLA XV

CÓNTENIDO DE NUTRIENTES EN RESIDUOS DE INDUSTRIAS CARNICAS

Residuo	N %	P_2O_5 %	K_2O %
Sangre seca	12-14	3-4	1,5-2,0
Harina de sangre	15-16	0,6-1,3	0,7-1,0
Harina de pescado	9-11	3-6	-
Harina de pezuñas y cuernos	14-16	-	-
Harina de huesos	3-4	21-29	0,2-0,5

Este tipo de residuos, no requiere tratamiento de compostado y pueden utilizarse para mejorar los contenidos de nutrientes de los residuos agrícolas y ganaderos, después de compostados; sin embargo, cada día es menor su empleo con este fin, ya que encuentran aprovechamiento más ventajoso en la alimentación animal.

6.2.- El compostado de biomasas residuales.-

El compostado de residuos orgánicos es un proceso exotérmico de oxidación de la materia orgánica, realizando merced a la acción de una serie de microorganismos distintos, de carácter aeróbico (VIEL, M., 1.987).

La fabricación de "compost" se inició a partir de la fracción orgánica de los R.S.U. y sólo en los últimos años se ha ampliado a los residuos de origen vital. La heterogénea naturaleza de aquellos, junto con el desconocimiento del proceso y de las características que debiera tener el "compost", determinó una escasa aceptación del producto, lo que a su vez, frenó la ejecución de trabajos de investigación y desarrollo del tema. De aquí que las publicaciones de mayor interés sobre el tema surjan a partir de la década de los años 70, coincidiendo con la puesta de manifiesto de las necesidades de materia orgánica de los suelos, y de la incidencia de

sus características físicas, químicas y biológicas sobre el rendimiento de los cultivos (GALLARDO-LARA, F., 1.987).

Simultáneamente, se han ido conociendo las acciones perturbadoras que también pueden derivarse de su uso, entre las que ocupan un lugar destacado la presencia de metales pesados y el grado de maduración o evolución del "compost". Sobre los primeros difícilmente podrá actuarse, excepto en lo que se refiere a la selección del material, pero sí podrá hacerse sobre el grado de maduración, que no es simplemente el grado de humificación, sino que es un concepto todavía difuso, al que se llega tras la evaluación de una serie de índices, cuyos valores, o especificaciones óptimas, continúan en muchos casos sin estar perfectamente definidos. En un "review" muy reciente (IGLESIAS, E., 1.989), se establecen cinco tipos de ensayos para conocer el grado de madurez; ensayos físicos, químicos, biológicos, microbianos, y uno expresamente dedicado a evaluar el contenido de humus, que es en la práctica un caso especial de los ensayos químicos.

Entre los ensayos físicos aparecen la temperatura, olor y color. El olor es, sin duda, de los más significativos, por el impacto que supone hacia el entorno, y decrece a lo largo del proceso para desaparecer al final. Son muchos y muy variados los compuestos volátiles que pueden liberarse en función de la fase termofílica o mesofílica por la que atraviese el proceso, y según el carácter más o menos aeróbico en que este tenga lugar. El sulfuro de hidrógeno sólo se libera en condiciones totalmente anaeróbicas, mientras que cuando son parcialmente aeróbicas, pueden liberarse diferentes sulfuros de dimetileno.

En todo caso, los ácidos grasos de bajo peso molecular, y los metabolitos de los mismos, formados durante la fase mesofílica, son los indicadores más empleados en relación con el olor, pues al principio aparecen concentraciones de hasta 30 mg/g debiendo desaparecer, prácticamente, al final.

Entre las determinaciones químicas, la relación C/N ha sido una de las más usadas. Se suele dar para la misma el valor de 20 o inferior

(GOLUEKE, C.G., 1.981), pero hay autores que estiman mejor disminuirla hasta el 15 (JUSTE, C., 1.980). Sin embargo, parece que este dato no es suficiente (MOREL, J.L., 1.985), porque puede tratarse de materias no degradadas pero con alto contenido en nitrógeno, por lo que se ha propuesto evaluar la madurez mediante la relación entre el C/N final y el C/N inicial. Para este índice

$$\frac{\text{C/N final}}{\text{C/N inicial}}$$

se da como mínimo el valor de 0,60, alcanzable en unos 180 días. Otros autores, después de comprobar que la asimilación de la materia orgánica por parte de los microorganismos tiene lugar en fase acuosa, utilizan como índice la relación C/N en este fase, y mejor aún la relación C orgánico/N orgánico, cuyos valores deben de situarse entre 5 y 6 (CHANYASAK, V., 1.982).

El pH de un "compost" es también un buen indicador de su madurez. Al principio, y consecuencia de la formación de ácidos, el pH puede ser inferior a 5; después, la pérdida y descomposición de estos le hace evolucionar hasta valores de 7-8.

La capacidad de intercambio catiónico es una medida de gran valor en los suelos y, lógicamente, la tiene también en el "compost", pues da idea de la humificación lograda. Los valores de 60 meq/100 g se consideran indispensables para que el producto pueda ser aceptable.

Los índices microbiológicos están con frecuencia íntimamente relacionados con los químicos. Así ocurre con los estudios respirométricos, la demanda química de oxígeno y los constituyentes biodegradables. En relación con estos últimos se suele hacer referencia a tres: el contenido en polisacáridos hidrolizables, para el que se da como máximo la cifra de 30 a 50 mg por gramo de materia seca, la relación entre el carbono orgánico total y los glúcidos solubles, que se aconseja tenga un valor inferior a 2,4; y la relación entre el carbono de azúcares reductores y el carbono total, que

debe ser inferior a 0,35.

Naturalmente, el contenido de fracción húmica es el índice de mayor garantía para dictaminar sobre el grado de madurez, hasta el punto de que, siendo una determinación química, se presenta como un índice independiente muy cualificado, importando no sólo su cuantificación sino también su naturaleza, a fin de que sea análoga a la fracción húmica del suelo (GONZALEZ-VILA, F.S., 1.985). Se considera una maduración suficiente y que el "compost" está debidamente higienizado, cuando tiene más del 5%, aunque hay autores más exigentes que cifran el nivel mínimo en un 11% (WIT, J., 1.982).

Por último, y también de manera relativamente reciente (JUSTE, C., 1.980) (WONG, M.H., 1.985), se han incorporado ensayos biológicos para determinar la capacidad de germinación, basándose en el hecho de que las condiciones reductoras que crea un compost inmaduro y la presencia de compuestos fitotóxicos, inhiben el crecimiento de las raíces de las plantas. Se trata de ensayos de laboratorio realizados con semillas de respuesta muy rápida, dándose por satisfactorio el resultado cuando en un período de 24 horas, en la oscuridad y a 27ºC, germinan más del 50% de las semillas.

El desconocimiento del proceso de compostado y, consecuentemente, la aplicación del "compost" inmaduro, ha sido causa de los efectos negativos que, en ocasiones, se han derivado de su uso. La falta de madurez determina pérdidas de nitrógeno del suelo, consumido por las poblaciones de microbianas; disminuye la concentración de oxígeno dificultando la respiración de las raíces al crearse situaciones anaeróbicas; estimula la formación de compuestos orgánicos tóxicos, tales como óxidos de etileno, favorece la fitotoxidad de los metales pesados, etc.

Esta última circunstancia constituye uno de los problemas más importantes de los últimos años, tanto por la diseminación de metales en el medio, como por el empleo directo de otros -caso de las sales de cobre- con fines quimioterapéuticos. Pues bien, se ha demostrado que el uso de un "compost" bien maduro eleva las tolerancias de cobre en el suelo: cir-

cunstancia, por otra parte, lógica, dado el efecto quelante de los ácidos húmicos y de algunos otros compuestos orgánicos presentes en el "compost".

Naturalmente, ésta no es una solución definitiva al problema de los metales, pues su reiterada aplicación conducirá a que en algún momento se alcance una concentración no soportable por los agentes quelantes. Pero al menos proporciona un margen de tiempo para la búsqueda de soluciones más definitivas.

El parcial conocimiento del proceso de compostado no ha favorecido al desarrollo de tecnologías adecuadas. Hay variados sistemas de obtención, aunque en su mayor parte podrían considerarse como artesanales. En general se pueden agrupar en dos tipos: fermentación natural o espontánea, en montones o hileras, y fermentación acelerada en digestores o cámaras. La primera requiere pequeñas inversiones, pero es muy lenta y con grandes ocupaciones de espacio. Un buen compostado exije varios meses y, en ocasiones, años, dependiendo de la naturaleza de la biomasa residual. Los tratamientos acelerados o semiacelerados, en cámaras o pilas de compostaje, permiten controlar variables operativas, seleccionar los residuos a tratar, con lo que se acorta sustancialmente el tiempo de proceso y se logra un producto acabado mucho más constante. Pero todo hace suponer que conocida algo mejor la naturaleza del proceso y la necesidad del producto, en los próximos años se han de producir avances significativos. Por lo pronto, ya se están tratando mezclas de residuos ganaderos con serrín, en dos etapas, la primera mesofílica en pilas estáticas con una duración de 21 días, y la segunda de maduración, en pilas con volteo y aireación forzada, durante un período de 30 días (KEELEY, G.M., 1.988) (SOLIVA, M., 1.990).

Pero, sin duda alguna, la combinación de métodos biológicos y químicos ha de contribuir a mejorar la fase mesofílica. Mediante el inóculo de bacterias específicas, capaces de degradar el substrato residual lignocelulósico y los productos químicos, tanto los generados en el proceso fermentativo como los procedentes de los tratamientos agrícolas o forestales previos a la creación biomasa residual (GLASER, J.A., 1.988), es previsi-

ble que se logre la más rápida evolución del proceso de compostado con la eliminación de tóxicos, siempre que se utilicen bacterias asociadas, según los productos que se necesita eliminar.

Igualmente, se han iniciado trabajos para la degradación de residuos mediante hongos, en atención a que algunas de las subestructuras de la lignina, como son 1-2-arildiéteres y las cadenas alifáticas, generan productos tóxicos, que pueden ser eliminados antes de su liberación al medio, por constituir una buena fuente de carbono para alimentación de hongos tales como Phanerochaeta Chrisosporium (BUMPUS, J.A., 1.987). Y no menos significativos han sido los hallazgos sobre la mineralización de bifenilos policlorados por este tipo de hongos (EATON, D.C., 1.985). El hecho de que en las reacciones de degradación se consuma peróxido de hidrógeno generado por los hongos a partir del oxígeno atmosférico (GLENN, J.K., 1.985), abre un campo de futuro a la combinación de los tratamientos químicos y los biológicos.

Pero también por la vía anaeróbia existen posibilidades para el compostado. Los tratamientos de metanización han sido estudiados en orden a optimar la obtención de metano o la estabilización de los residuos. La degradación atraviesa por fases, que no son ni aerobias ni termofílicas, pero que comportan la disminución de la relación C/N, la formación de compuestos húmicos y el aumento de la capacidad de cambio, por lo que igualmente puede ser un sistema de compostado.

El destino a metanización de sustratos con alto contenido en humedad ha desviado la atención de los residuos sólidos de origen vital; sin embargo, si se fijan los objetivos en el compostado y se considera el biogas como un subproducto, el proceso puede ser de gran utilidad, como lo prueba su empleo generalizado en la estabilización de lodos de depuradoras de agua, que posteriormente tienen una aplicación agrícola, limitada por sus contenidos metálicos pero no por la naturaleza de la materia orgánica. La cuestión requiere, pues, estudiar las condiciones operativas para detener el proceso justo donde convenga, para evitar la degradación excesiva del sustrato húmico.

7.- EMPLEO EN LA ALIMENTACION GANADERA.-

7.1 - Antecedentes, productos utilizables y limitaciones.-

De antiguo es conocido el empleo de subproductos agrícolas, como la paja, en la alimentación animal, especialmente en rumiantes, aunque la eficiencia de aprovechamiento fuera mediana.

Nada, por ello, más lógico que seguir el camino de la alimentación animal para reincorporar al ciclo de consumo los residuos de la producción vegetal. Por otra parte, el progresivo conocimiento de la naturaleza y composición de los residuos ganaderos de toda índole ha permitido su valoración para el retorno al consumo ganadero, estableciéndose un mecanismo de autoconsumo, si se considera a la producción ganadera o animal como una unidad de consumo.

Pero fruto de esta lógica que, por sí misma, sería suficiente para justificar esta vía de uso y eliminación de residuos de origen vital, aparecen hoy otra serie de circunstancias de carácter técnico y económico, que vienen en su apoyo.

La implantación de la ganadería ha permitido en España que la producción de carne se haya incrementado en los últimos 20 años en más de un 50%. En paralelo, otros productos, como la leche o los huevos, han experimentado también incrementos de producción, aunque quizá no tan elevados. Sin embargo, las superficies dedicadas a pastos no han crecido o lo han hecho de forma mínima. Todo ello se ha debido a la ganadería intensiva, lo que a su vez comporta unas necesidades de piensos, fabricados inicialmente a base de maíz y soja, aunque posteriormente hayan sido parcialmente sustituidos por cebada y girasol, respectivamente. Como el fenómeno es mundial, no se han hecho esperar las llamadas de atención sobre la competencia de los piensos con la alimentación humana, con lo que los residuos de origen vital han adquirido nueva relevancia como sustitutivos más adecuados para la fabricación de piensos y, en general, para la alimentación ganadera, a pesar de sus indiscutibles limitaciones.

La especial capacidad de los rumiantes para digerir productos fibrosos hace que sea este tipo de ganadería el destinatario más adecuado para buena parte de las biomasas residuales vegetales, pero también es factible su asimilación por los monogástricos, siempre que los residuos sean debidamente seleccionados o adecuadamente tratados.

Se ha hecho referencia a la paja como un residuo tradicionalmente utilizado, en mezcla con cereales o harinas de cereales; pero podría establecerse una interminable relación. Sólo a título de ejemplo se pueden citar los residuos de los cultivos de la vid, del olivar, de la remolacha azucarera, de hortícolas, etc., así como bellotas, cascarilla de girasol, cáscaras de cacahuete, hojas de árboles, residuos de industrias agrícolas, forestales y ganaderas, excrementos animales, etc.

El cultivo de la vid y su posterior manipulación aporta residuos tales como la granilla de uva, hollejos, restos vegetales tiernos de podas primaverales, siendo incluso utilizables los sarmientos. De todos ellos, la granilla y los hollejos, en mezcla o separados,son los de aprovechamiento más generalizados, a pesar de su baja digestibilidad. Ambos son abundantes en potasio y, a pesar de su elevado contenido en lignina, podrían constituir hasta un 50% de la dieta del ganado vacuno. Los restos de poda verde, por su parte, y los sarmientos debidamente triturados, se han utilizado como alimento de ceba de novillos.

Del olivar, el residuo de uso más inmediato es el orujo extractado y desecado, conocido como pulpa de aceituna, que se dedica a alimentación de rumiantes y, en menor grado, para súsidos en cebo y reproductores. Con frecuencia se emplea mezclado con melaza para mejorar su contenido energético y sus características organolépticas, aunque tiene el inconveniente de su baja digestibilidad.

Con el ramón del olivo se aconseja separar la hoja de las ramas, y emplear sólo aquella triturada pues, aunque ambas tienen valores proteínicos, las hojas alcanzan contenidos entre el 7% y 13% (ARANDA, A. 1.983)(ALIBES, X. 1.982), mientras que las ramas no superan el 7%.

El cultivo de la remolacha azucarera y la industria derivada, aportan una serie de productos residuales valiosos para la alimentación animal. De una parte, las coronas de remolacha, con un contenido de proteína bruta de cerca del 16% sobre sustancia seca, y de otra la pulpa de la remolacha, son susceptibles de ser consumidas en fresco por su alto índice de digestibilidad y su elevado valor energético. Las limitaciones a su consumo están en el elevado contenido en minerales, del orden del 22% sobre sustancia seca, lo que determina un aporte excesivo de potasio, nitritos y oxalatos.

La industria azucarera suministra, además, otro producto, que no es residual, pero que tiene amplio uso en alimentación animal: se trata de las melazas que en mezcla con otras biomasas residuales vegetales, mejoran sus carencias nutrientes y las características organo-lépticas, elevan el nitrógeno proteico e incrementan la digestibilidad del material con que se mezclan. El problema fundamental para su uso es de carácter técnico y radica en la dificultad para su mezcla con otras materias.

Valgan estos ejemplos para dar idea de las posibilidades potenciales que ofrecen los residuos agrícolas como recurso para la alimentación ganadera. La realidad, sin embargo, se mueve en cotas muy inferiores a las que su potencialidad teórica ofrece.

Otras posibilidades pueden deducirse de las composiciones simplificadas que aparecen en la TABLA XVI.

Pero no sólo son los residuos agrícolas los que pueden utilizarse en la alimentación del ganado, sino también las propias excretas ganaderas. Su tradicional empleo como fertilizante ha cambiado de rumbo, orientándose hacia la alimentación animal. Hoy se sabe que la gallina produce el doble de proteína como excretas que como huevos; cifra que tiene un indudable valor económico pues se traduce en el hecho de que su empleo alimentario es de tres a diez veces más eficaz que si se utiliza como fertilizante.

TABLA XVI

COMPOSICION DE ALGUNOS RESIDUOS AGRICOLAS (BOZA, V., 1.984)

(Valores redondeados a unidades)

Residuo	Sustancia seca %	% SOBRE SUSTANCIA SECA			
		M. Orgánica	Proteina Bruta	Fibra Bruta	Cenizas
Coronas de remolacha	14	78	16	7	22
Pulpa de remolacha	91	96	9	27	4
Vainas de habas	87	90	18	17	10
Bagazo de cerveza	91	96	29	17	4
Cáscara de almendra	87	88	6	18	12
Paja de veza	89	93	6	46	7
Paja de garbanzo	88	93	6	38	7
Ramón de encina	77	94	7	36	6
Ramón de olivo	69	90	8	25	10
Cañote de girasol	87	76	6	22	24
Corteza de chopo	81	93	7	45	7
Cañote de maiz	63	90	9	39	10

Los cuatro residuos de mayores posibilidades son: estiércol avícola deshidratado procedente de gallinas ponedoras, estiércol de pollos de cría, de súsidos y de vacuno, cuyas composiciones aparecen en la Tabla XVII (SHULER, M.L., 1.980).

TABLA XVII

COMPOSICION DE ALGUNOS RESIDUOS GANADEROS

Componente	Avícola deshidrat.	Pollos de cría	Súsidos	Vacuno
Sobre s. seca:				
Proteina bruta, %	19-35	20-34	12-30	11-22
Proteina pura, %	7-15	13-19	15-16	-
Acido úrico, %	2-12	?	-	-
Grasas, %	2-14	3-6	4-10	2-3
Fibra, %	10-29	15-23	14-15	22-37
Cenizas, %	20-49	11-31	13-24	1-11
Calcio, %	4-15	1-3	1-6	0,5-1,5
Potásio, %	0,5-3	1-2	0,5-2,5	0,5
Magnesio, %	0,5-1,5	0,4-1	0,4-1,5	0,4
Fósforo, %	1,5-3,5	1,4-2,5	1-3,5	0,2-2
Hierro, p.p.m.	1000-5000	450	1950	1350
Cinc, p.p.m.	40-650	235	550	250
Manganeso, p.p.m.	200-550	225	350	150
Cobre, p.p.m.	25-200	100	200	30

Notese en todos los casos los elevados contenidos de proteína bruta, siendo el de proteína pura muy análogo al de los cereales grano. En el caso del estiércol avícola deshidratado, la mayor parte del nitrógeno no proteico es ácido úrico, consecuencia de que las aves y otros monogástricos no lo asimilan, pero sí lo hacen los rumiantes, que para este tipo de residuos presentan índices de digestibilidad superiores al 70%.

Como es lógico, el uso de este tipo de residuos requiere garantizar su inocuidad y su carencia de olor, así como su estabilidad, constancia de composición, capacidad nutriente y palatabilidad. El logro de estas condiciones exige una serie de tratamientos, unas veces difíciles y otras costosos,

que son causa de limitaciones en su empleo; no obstante, la incorporación de los residuos avícolas a las dietas de rumiantes se va generalizando. E igual ocurre con los de súsidos, empleados para la sustitución parcial de otros piensos, sin que sobrepasen el 45%, dado que los niveles de digestibilidad sólo alcanzan valores del orden del 30%.

En términos generales, cuatro factores condicionan las posibilidades de empleo de los residuos de origen vital en la alimentación ganadera: la composición escasamente equilibrada de nutrientes, la baja digestibilidad, la presencia de contaminantes y los problemas para su conservación.

7.2 - Incremento de la digestibilidad.-

El más elemental tratamiento para la mejora de la digestibilidad es su molienda. La cinética química tradicional justifica que la disminución del tamaño de partícula aumenta la velocidad de reacción. Pero aquí hay algo más, pues la digestión es una reacción enzimática que la molienda favorece al hacer el sustrato más accesible al enzima. Pero es poco lo que se mejora, pues, en general, las moléculas proteínicas de las enzimas son demasiado grandes para atravesar los orificios celulares creados con la molienda.

De aquí que surgiera la idea de romper los enlaces químicos de la lignina y de los ésteres constituyentes de la pared celular, mediante un proceso de hidrólisis con vapor de agua a alta presión. Tampoco los resultados fueron atractivos, pues para lograr mejoras discretas se necesitan presiones de 21 kg./cm2 (KCOPFESNSTEIN, T.J., 1.971), lo que implica un consumo energético superior al incremento de digestibilidad.

Igualmente, se han empleado radiaciones ionizantes, como rayos X o rayos gamma, pero los anillos aromáticos de la lignina son muy resistentes y se necesitan dosis de radiación muy alta (IBRAHIM, N.M., 1.980).

El procedimiento más antiguo es, sin embargo, la hidrólisis alcalina. Ya hace más de cien años que se demostró que los tratamientos con

álcalis son mucho más eficaces que la trituración. Los álcalis disuelven la liquina y la sílice, rompen las estructuras cristalinas y amorfas, provocan la despolimerización, hidrolizan los ésteres de la pared celular, incrementan el área superficial e hidratan la celulosa y sus productos de despolimerización. Las causas de esta hidratación e hinchamiento no están bien definidas. Hay autores que lo cifran en el hecho de que la fibra actúa de membrana semipermeable en lugar de hacerlo como membrana osmótica; otros, sin embargo, admiten que se solvata la celulosa, y todavía hay quien supone que se trata de fenómenos de repulsión electrostática entre moléculas de celulosa cargadas como consecuencia de la ionización.

El primer procedimiento data de una patente británica de 1.919 (BECKMAN, E., 1.919) y estaba basado en un tratamiento de la paja a temperatura y presión ordinaria, con una disolución de hidróxido sódico al 1,5%. Después, la modificaciones se han ido sucediendo en orden a mejorar resultados de digestibilidad y a evitar pérdidas. Así, se incorporaron los tratamientos en caliente y a presión para después abandonarlos sustituyéndolos por otros en los que se aumentaba la concentración de hidróxido sódico al 4-5%, y el tiempo de tratamiento a 24 horas. Como esto daba lugar a pérdidas de sustrato se desarrolló el llamado "método seco" (WILSON, R.C., 1.964), basado en el empleo de la mínima cantidad de una disolución de alcali al 20%. Y así se han ido sucediendo multitud de variantes (HOMB, T., 1.984), siempre con el mismo objeto de optimar costos de tratamiento y mejorar la digestibilidad.

Posteriormente, el hidróxido sódico se sustituyó por cal, resultando casi tan eficaz como aquél, pero el proceso es mucho más lento.

El agente de hidrólisis más aceptado en la actualidad es, sin duda, el amoníaco, pues aunque los incrementos de digestibilidad son algo inferiores a los alcanzados con álcalis fuertes, palía el problema de los bajos contenidos proteínicos de muchos de los productos que se tratan, que en el caso de la paja pasa de 3 a 4%. El procedimiento se inició en Noruega y se ha extendido bastante por Europa, con diferentes variantes tecnológicas que van desde el tratamiento en simples bolsas de plástico hasta el uso de reactores a presión (DALE, B.E., 1.982).

El carácter gaseoso del amoníaco facilita su accesibilidad al sustrato, aunque comporta riesgo de toxicidad. El amoníaco se emplea para tratar pajas de cereales, restos de leguminosas, zuros y cañotes de maíz, sorgos, vainas y cascarillas diversas, virutas de madera, etc. (ALIBES, X., 1.984).

Al objeto de hacer el tratamiento sobre el terreno, el amoníaco se ha sustituido también por urea en disolución acuosa, utilizándose unos 4 Kg de urea por cada 100 Kg de residuos. La ureasa que suelen contener éstos facilita la acción de la urea. En la misma línea se han empleado también algunas sales amónicas, como el sulfato, carbonato y bicarbonato, siendo este último de los más idóneos por su capacidad para disolver lignina.

Pero los agentes químicos de tratamiento no se limitan a los álcalis y sales citadas, sino que alcanzan a otras sales, como el carbonato y cloruro sódico, a agentes oxidantes y reductores, como el cloro, hipocloritos cálcico y sódico, cloratos, cloritos, peróxido de hidrógeno, peróxido sódico, bisulfitos, sulfuros alcalinos, dióxido de azufre, etc., y reactivos quelantes como el EDTA y el sulfato de lauril sodio (OWEN, E., 1.984).

Por último, y como es lógico, también pueden emplearse tratamientos biológicos para aumentar la digestibilidad, tanto de los productos fibrosos como de los no fibrosos, así como de los residuos de la industria de conservas vegetales. El problema está, como siempre, en encontrar los microorganismos capaces en cada caso de degradar los complejos lignocelulósicos afectando lo menos posible a la celulosa y hemicelulosa. En general, se utilizan varios tipos de hongos que no sólo mejoran la digestibilidad, sino que aumentan la proteína, los lípidos y los contenidos vitamínicos.

7.3 - Conservación y eliminación de patógenos: Ensilado.-

La eliminación de patógenos de los residuos es condición imprescindible para su posterior empleo alimentario. Por otra parte, muchos de los mismos se generan de forma estacional siendo necesario disponer de

sistemas de conservación para su consumo progresivo. En general, los sistemas de conservación alcanzan también a la eliminación de patógenos, tòxinas, parásitos y virus, de aquí que, aún tratándose de cuestiones distintas, sea preferible su presentación conjunta.

La desecación es uno de los procedimientos intentado, aunque no generalizado. Si se hace con aire caliente, el proceso tiene un alto coste energético y de equipo, y si se realiza un desecado natural a temperatura ambiente, se disminuyen los costes pero no se garantiza la eliminación total de patógenos, ni la constancia de composición, además de sufrir elevadas pérdidas de nitrógeno y de otros nutrientes.

La incorporación de aditivos químicos conocidos en tratamientos de conservación, es también otra posibilidad, con el mismo inconveniente de carestía que presenta la desecación térmica. Estos aditivos suelen ser el ácido fórmico y el formol, y tienen por objeto inhibir la acción microbiana por disminución del pH. El formol se une a las proteínas y disminuye o evita la proteolisis, aunque con el inconveniente de que disminuye su digestibilidad (HENDERSON, A.R., 1.982).

Por ello, quizá uno de los sistemas de más posibilidades de conservación, sin previa desecación, sea el ensilado, que tiene además la ventaja de mejorar la digestibilidad, en especial cuando los productos empleados proceden de un tratamiento hidrolizante. El ensilado es una fermentación láctica anaerobia que realizada en unas condiciones de humedad adecuada (>30%) y a una temperatura casi ambiente, da lugar a una progresiva disminución del pH, hasta 3,9-4,8, como consecuencia de la formación de ácido láctico hasta una proporción del 5% de la sustancia seca. En estas condiciones, y sin pérdidas excesivas de nutrientes, se consigue un producto desodorizado, exento de bacterias patógenas y de nematodos parásitos, manteniéndose después incontaminado y estable mientras se mantenga en el silo en condiciones anaerobias. Como las bacterias lácticas no son proteolíticas no se producen pérdidas cuando el producto formado es ácido láctico, y muy pequeñas cuando se genera algo de CO_2.

Siendo un proceso de ejecución sencilla, aunque de mucha mano de obra, es de mecanismo complicado, por la intervención posible de otras bacterias, las Clostridiales, que originan una fermentación fuertemente perturbadora porque descompone el ácido láctico, elevándose el pH, generándose ácidos butírico y acético, amoníaco y CO_2. La actividad butírica se inhibe por el pH, manteniendo las condiciones anaeróbias y siempre que el contenido de humedad se mantenga entre el 70% y 80%, pues, cuando se supera, la fermentación butírica ocurre, aún pH inferiores a 4. Como quiera que los carbohidratos estructurales de las biomasas residuales no pueden ser utilizados para la fermentación láctica inicial, sino que necesita azucares solubles, el empleo de melazas en mezcla con los productos a ensilar, favorece su conservación, mejora su digestibilidad y los hace más gratos a los animales (FERNANDEZ, V., 1.984).

Aunque la técnica del ensilado se aplica de forma tradicional a hierba y forraje, puede utilizarse sin dificultad con todo tipo de residuos agrícolas o agroindustriales que tengan un contenido de humedad suficiente, como pueden ser la pulpa de remolacha, los residuos de las industrias conserveras, los restos hortifrutícolas, e incluso, hojas y podas verdes y, por supuesto, las excretas animales. Sin embargo, los residuos muy secos, como los cañotes, zuros y pajas, no son los más adecuados para ensilar, pero también son los que tienen menos riesgo de alteración y menos dificultades de conservación.

7.4 - Piensos a partir de residuos de industrias cárnicas.-

El grado de aprovechamiento de los residuos de mataderos, de industrias cárnicas, de granjas avícolas y de centros de comercialización del pescado aconseja hacer una presentación separada de éstos, dado el grado de incertidumbre que todavía acompaña a los restantes residuos vitales.

De los mataderos se puede recuperar harina de sangre, de carne y de huesos. La de sangre se obtiene por desecación y molturación, siendo muy recomendable para piensos de monogástricos. La de carne procede de restos cárnicos, con exclusión de pezuñas, cuero, pelo y sangre, deseca-

dos y molturados, que, dado su origen, no ofrece especial contraindicación para su empleo.

Los mataderos avícolas suministran también otros tres tipos de harinas: la de restos que, con exclusión de las plumas, contiene todo tipo de vísceras, cabezas, patas, etc., la de restos de incubación, que es una mezcla de cáscaras de huevo, huevos no fértiles y pollitos que no han llegado a término; y, por último, la harina de plumas hidrolizadas, que se obtiene a partir de plumas limpias, por hidrólisis con agua a presión, también para favorecer su digestibilidad.

Por último, de los restos de tratamiento e industrias conserveras del pescado se obtienen dos interesantes productos: la harina de pescado y los solubles de pescado. La harina de pescado es ampliamente conocida e interviene en la composición de piensos para aves y para súsidos, siendo uno de los alimentos más completos de los obtenibles a partir de residuos. Se obtiene a partir de todo tipo de restos triturados y desecados, y sólo tiene el inconveniente del enranciamiento de su grasa, debida a la insaturación, lo cual no sólo afecta al sabor sino también a su valor energético.

Los solubles de pescado, por su parte, constituyen un concentrado de consistencia pastosa, obtenido por concentración de diferentes tipos de aguas empleadas en la manipulación e industrialización del pescado, que son portadoras de muchas sustancias solubles y en suspensión, con valor nutriente.

En la Tabla XVIII aparecen las composiciones medias de este tipo de productos.

TABLA XVIII
COMPOSICION MEDIA DE HARINAS DE RESIDUOS DE MATADEROS Y SIMILARES

Producto	Humedad %	Cenizas %	Proteína %	Grasa %	Fibra %	Ca %	P %
Harina de carne	8,2	21,5	60,0	7,6	2,6	5,7	2,9
Harina de sangre	8,7	5,2	84,0	1,0	1,0	0,3	0,3
Harina de huesos	5,0	77,7	12,2	0,5	-	27,0	13,0
Harina avícola	6,0	15,6	63,0	14,7	2,3	3,3	1,8
Har. restos incubación	6,5	56,8	23,0	13,4	2,0	22,4	11,1
Harina de plumas	6,8	3,7	85,0	2,5	1,5	0,2	0,7
Harina pescado	8,2	16,6	64,5	7,8	0,6	4,0	2,6
Solubles pescado	50,0	10,2	32,0	4,0	0,5	0,1	0,5

Basta observar los contenidos proteínicos que alcanzan el 85% en los casos de la harina de sangre y la de plumas hidrolizadas, infrecuentes en productos alimentarios habituales, para valorar su empleo en la composición de piensos.

7.5 - Fraccionamiento de la biomasa vegetal.-

La preocupación por lograr un óptimo aprovechamiento de la biomasa vegetal, ha conducido, en los últimos veinticinco años, al desarrollo de una serie de tecnologías de fraccionamiento que permiten disponer de concentrados proteínicos de bajo contenido en fibra, con destino a monogástricos, incluido al hombre, y de masas residuales más fibrosas de consumo por poligástricos. Estas tecnologías posiblemente sean unas de las de mayor porvenir para el tratamiento de biomasas residuales verdes.

El fraccionamiento vegetal ofrece diferentes variantes, si bien en su concepción más sencilla consiste en triturar la biomasa vegetal para formar una pulpa, que después se prensa para separar, por una parte, un "zumo" y, por otra, el residuo prensado, que se denomina "bagazo" (GONZALEZ, G., 1.983).

El zumo contiene proteínas, lípidos, almidón, azucares, etc., y puede ser utilizado en forma líquida, desecado o deshidratado, como

alimento para monogástricos, o puede continuarse su fraccionamiento a través de fases más o menos complejas, hasta obtener productos proteínicos válidos para la alimentación humana.

El bagazo, se emplea como alimento de rumiantes, directamente, desecado o después de ensilado.

En España se ha estudiado el fraccionamiento de alfalfa y veza (GONZALEZ, G., 1.974) de crucíferas, de hojas de árboles (GONZALEZ, G., 1.976), de plantas de guisantes desgranadas (GONZALEZ, G., 1.982), existiendo ya instalaciones industriales para el tratamiento de alfalfa verde, a partir de la cual se obtiene un concentrado proteico y bagazo ensilado.

En USA, Francia, Reino Unido y Hungría existen también plantas industriales que obtienen los dos productos, si bien en USA llegan al aislamiento de proteínas para la alimentación humana mediante un fraccionamiento por ultrafiltración o por cromatografía de gel. De todas maneras, y a pesar de tan selectivos fraccionamientos, la presencia de clorofilas, saponinas, péptidos y otra serie de sustancias, condiciona todavía su empleo en la alimentación humana.

8.- LOS RESIDUOS DE ORIGEN VITAL COMO SUSTRATO PRODUCTIVO.-

8.1 - Antecedentes y posibilidades.-

La secuencia de los ciclos biogeoquímicos, producción-consumo-simplificadores admite determinadas variantes sobre las anteriormente apuntadas que, sin separarse del ciclo global pueden solaparse entre dos estadios diferentes, lo que les proporciona tal singularidad que merece la pena presentar separadamente. De aquí que, aunque de forma muy somera, proceda hacer referencia a algunas opciones de uso o consumo de biomasas residuales tales como: cultivo de algas, bacterias y fermentos, producción de hongos y setas comestibles, y la lombricultura o vermicultura.

Sabido es que buena parte de estas opciones no son nuevas. El empleo de algas en la alimentación animal ha sido siempre muy atractivo, en virtud de su alta productividad. Nada tienen, pues, de extraño las nuevas orientaciones para su producción sobre sustratos residuales de naturaleza líquida, consiguiéndose suplementariamente disminuir en ellos el contenido de materia orgánica hasta valores de la DBO de 30 a 80 mg/l, lo que permite su vertido a los cauces con un mínimo de impacto ambiental.

Sobre el empleo de levaduras en la alimentación los antecedentes son aún más notorios. Desde muy antiguo se conoce un amplio número de productos para el consumo humano obtenidos a través de procesos de fermentación, unas veces mediante levaduras, como pan, vino, cervezas, mermeladas, etc., y otras por fermentaciones bacterianas, como es el queso y los varios productos lácteos, los escabeches, etc. Es cierto que no se utilizan productos residuales, pero sus métodos de manipulación abren una amplio campo para la posible reutilización de éstos.

Y lo mismo puede decirse de las setas, productos de buena demanda para el consumo humano y de precio atractivo, tradicionalmente cultivadas sobre residuos por tratarse de especies humícolas.

La lombricultura o vermicultura es, sin embargo, una opción que está en sus inicios, pues ha surgido como consecuencia de la desaparición, o al menos drástica disminución, de las lombrices de las tierras de cultivo, a causa de la quimificación del suelo y de la mecanización agraria. La lombriz ha sido siempre un agente capaz de mejorar las características físicas y químicas del suelo. Le proporciona porosidad y aireamiento y sus excretas constituyen un humus de excelente calidad.

Existen muchos antecedentes sobre el valor de la lombriz en los suelos agrícolas. La fertilidad del valle del Nilo se atribuía, en gran parte, a ella, y en el antiguo Egipto existían edictos faraónicos por los que se prohibía exportar la lombriz bajo pena de muerte. Su significado en fertilidad del terreno lo prueba también el que durante tiempo el contenido de lombrices por metro cuadrado sirviera de índice de tasación del valor de los campos.

La producción controlada de lombrices sobre un sustrato de biomasa residual es, pues, sólo de una novedad relativa, pero surge ahora apoyado en el mejor conocimiento de los mecanismos que la propia naturaleza ofrece.

8.2 - Producción de algas y bacterias.-

Investigadores de muy diferentes países parecen haber demostrado que los residuos líquidos de origen ganadero y humano constituyen un excelente sustrato para el cultivo de algas, con la ventaja adicional de que, por tratarse de un fitoplacton, con la ayuda de la luz solar producen el oxígeno necesario para el mantenimiento de las bacterias que contribuyen a disminuir el contenido de materia orgánica. Esta acción conjunta convierte en inocua la materia orgánica y transforma los residuos en nutrientes para las algas. El tratamiento puede realizarse en estanques muy simples que no requieren estar revestidos de cemento, bastando sólo que sean de pequeño espesor para facilitar la acción de la luz y favorecer un alto contenido de oxígeno disuelto. Con estanques de 20 a 40 cm de espesor, el tiempo de retención del sustrato acuoso residual es relativamente corto, pues oscila entre 2 y 8 días, consiguiéndose disminuir fuertemente la DBO en el efluente de salida, siempre que el pH se mantenga

entre 7,5 y 8,5. Las algas, con un contenido de proteína bruta comprendido entre el 45 y 65%, se destinan a alimentación animal (EDWARDS, P., 1.980).

Los tipos de algas cultivadas pueden ser muy distintos, dependiendo de las características del sustrato líquido residual que se aporte y de las condiciones climáticas del entorno. Son frecuentes las algas verdes del tipo Chlorella, Micractinium, Seenedesmus, etc., pero también existen otras de carácter filamentoso. La especie de alga tiene importancia ya que en función de su tamaño y grado de asociación se facilita la recolección. Las algas de carácter colonial, como la Micractinium, se recolectan con facilidad por filtración con un tamiz de malla fina; las filamentosas son también de fácil recolección por microfiltración. Sin embargo, las Chlorella, por ser algas unicelulares, son difíciles de separar.

Las algas, una vez separadas, pueden secarse al sol, en las áreas geográficas donde esto sea posible, o bajo presión. En el primer caso su digestibilidad es más reducida, por lo que su destino principal es para rumiantes. Cuando se secan a presión las paredes celulares se rompen, con lo que se aumenta su digestibilidad, pudiendo emplearse entonces como pienso avícola y de súsidos. Naturalmente, la discusión se centra en evaluar si el consumo suplementario de energía que supone el uso de algas secadas por presión, es compensado por sus nuevas aplicaciones, lo cual, a su vez ha determinado diferentes alternativas de tratamiento, entre las que figura, incluso, el autosuministro energético de metano por digestión anaerobia de una parte del sustrato residual de partida (MAJID, F.Z., 1.980).

Las nuevas tendencias de la agricultura biológica, que aspira a sustituir en el próximo siglo los productos agroquímicos por sistemas o asociaciones biológicas, pueden encontrar nuevos usos para la producción de ciertas algas filamentosas a partir de residuos de origen vital. Este tipo de algas pueden desarrollarse, mediante la oportuna inoculación, sobre la superficie de los suelos en que crecen determinados cultivos, entre los que figura el arroz, estimulando su crecimiento a través de la capa de agua gracias a la producción del oxígeno de la fotosíntesis. Mediante N^{15} se ha

podido demostrar que parte del nitrógeno fijado por las algas, se transfiere después a las plantas de arroz, lo que abre la posibilidad a una nueva forma de fertilización nitrogenada no mineral. En experimentos realizados sobre suelos sin fertilizantes, se han podido evaluar fijaciones biológicas de nitrógeno del orden de 60 kg de N/Ha.año, procedentes de bacterias heterótrofas y de algas (WATANABE, I., 1.988), aún cuando la aportación de las algas parece ser pequeña.

Dentro de esta misma línea de emplear los residuos como sustrato, hay que mencionar los cultivos de bacterias y de hongos, de crecimiento rápido, con un alto contenido proteínico.

En principio cualquier microorganismo que pueda utilizar la celulosa como fuente de carbono es susceptible de ser empleado para obtener este tipo de proteínas.

Las especias bacterianas seleccionadas son de tipo aerobio, mesofílicas o termofílicas, debido a su alta eficacia y rapidez de multiplicación. Hay especies que se multiplican veinte veces más rápidas que las algas. Las mesofílicas (Cellulomonas sp.) crecen a una temperatura media de 34ºC en un medio de escasa salinidad a pH 6,6, pero complementado con algunas vitaminas. Las termofílicas (Actinomyces sp.), sin embargo, lo hacen a temperaturas de 55ºC en un medio de pH entre 7,5 y 7,8. La diferencia básica entre ambas está en que las mesofílicas se desarrollan sobre celulosa tratada, siendo de poco rendimiento sobre materiales lignocelulósicos. Las termofílicas, por el contrario, crecen bien sobre lignocelulosa nativa, y se han propuesto para degradar la lignina (DUNLAP, CH. E., 1.980). En general, contienen todos los aminoácidos esenciales, con excepción de la metionina.

La cuestión, no obstante, no está exenta de dificultades, tanto de carácter técnico como sanitario. De una parte, la recolección de las celulas de los sustratos líquidos es costosa, pues los sustratos están muy diluidos, -tienen sólo unos 10 a 20 gramos de sustancia seca por litro-, es preciso separarlos de la fracción fibrosa del residuo, la densidad de las celulas bacterianas está muy próxima a la del agua y su tamaño es sólo de 1-2 μm, por lo que hay que separarlas por centrifugación, que es un método caro.

De otra parte, están la toxicidad de muchas especies bacterianas, su difícil digestibilidad y el alto contenido en ácidos nucléicos y en ácido úrico. En este sentido, el grupo consultor de proteínas de las Naciones Unidas tiene establecidas unas instrucciones para ensayar las nuevas fuentes de proteínas con destino humano.

8.3 - Levaduras.-

La obtención de levaduras con destino a la alimentación ganadera, e incluso humana, a partir de biomasas residuales es, sin duda, uno de los sistemas de mayores posibilidades actuales y futuras para la reutilización directa de muchos residuos o subproductos de la industria alimentaria, y de otras, como las papeleras, que utilizan algún tipo de biomasa como materia prima.

La IUPAC, definió las levaduras alimentarias, "como una levadura muerta y seca, carente de actividad diastasa, y que no ha sido sometida a ningún proceso de extracción ni recibido ningún tipo de aditivos". Esta definición fue aceptada por la CEE por acuerdo del Parlamento Europeo de enero de 1.975, quien, asimismo, estableció unas especificaciones para su composición media y límites para sus contenidos en metales pesados y microbiológicos.

Una parte no despreciable de levaduras de panificación, cervecería e industrias vínicas, se utilizan en la actualidad para consumo directo. El suero de la fabricación de quesos es un residuo de difícil eliminación, que contiene un 7% de residuo sólido formado por ácido láctico (2%), lactosa (74%), proteínas (12%), minerales (8%) y grasas (4%), y sobre el que se han realizado intentos para convertirle en un sustrato de producción de biomasas o de etanol (REED, G., 1.991).

La industria azucarera proporciona un residuo conocido con el nombre de melazas, con contenido de azúcares comprendidos entre el 48% y el 56%, dependiendo de su origen -remolacha o caña-, que es un excelente sustrato para el crecimiento de levaduras tales como la Candida utilis o la Saccharomyces cerevisiae. Sin embargo, las melazas comienzan a escasear, y su calidad va empeorando por las mejoras en la industria

azucarera para separar la sacarosa residual (BUI, K., 1.990).

Los résiduos de lignosulfato generados en la producción de pasta de papel constituyen otro sustrato, de vertido siempre polémico, sobre el cual puede desarrollarse bien la Candida utilis, toda vez que durante el proceso la hemicelulosa de la madera puede hidrolizarse a azucares fermentables. Aunque la composición en azúcares de este sustrato depende del tipo de madera utilizada, se puede estimar que, por término medio, se generan de 6 a 8 m^3 de lejías lignocelulósicas por cada tonelada de madera producida, con un porcentaje de azúcares del 2%, apareciendo glucosa y pentosas en una proporción de 4:1. Sin embargo, este sustrato tiende también a desaparecer, debido a la generalización del proceso Kraft, en lugar de el del bisulfito, en el cual los azúcares generados en el proceso se descomponen y oxidan a compuestos no útiles para las levaduras.

La Candida utilis fue usada durante la II Guerra Mundial en Alemania, como suplemento alimentario humano. Se abandonó su uso unos años después, y los trabajos se reanudaron y multiplicaron en la década de los años 60 a 70, con el objetivo de buscar nuevas fuentes proteínicas, para ser, después, la eliminación de residuos, la razón básica de esta investigaciones.

El uso de levaduras en la alimentación humana está condicionado por su estabilidad, por su contenido en algunas sustancias con niveles críticos y por la carencia de otras que deben ser suplementadas. La falta de estabilidad se debe a su posibilidad de oxidarse, lo que las enrancia y modifica su sabor. Las limitaciones por presencia de sustancias críticas se deben a ácidos nucleicos y ácidos fólicos. Del 10-15% del nitrógeno total es nitrógeno de los ácidos nucleicos, lo que puede originar una elevación del contenido de ácido úrico en el plasma sanguíneo, siendo causa de gota. Se acepta que los niveles de ingestión de ácidos nucleicos no sea superior a 2 gramos por persona y día, lo que, a su vez, limita las cantidades de levadura a unos 20 gramos. Por su parte, el Departamento de alimentación de USA, permite el empleo alimentario de levaduras siempre que su contenido en ácido fólico no sea superior a 40 p.p.m.

A fin de superar estos problemas, se están realizando notables esfuerzos para eliminar o disminuir los contenidos de ácidos nucleicos, habiendo sido propuestos diversos métodos, pero ninguno resulta económicamente factible. Sin embargo, investigaciones bastante recientes (SCRIMSHAW, N.S., 1.986) realizadas sobre ratas apuntan hacia el hecho de que quizá no sea tan imprescindible esta eliminación.

8.4 - Cultivo de setas.-

Las setas constituyen uno de los productos más tradicionales cultivados sobre residuos. Hay más de 45.000 especies de setas, de las que son comestibles sólo unas 2.000, aún cuando se comercializan poco más de una docena, ante la incertidumbre de su carácter venenoso, su palatabilidad y su valor nutriente.

Las innovaciones en este campo se orientan hacia la selección de especies y el desarrollo de nuevos soportes a base de residuos.

En Taiwan, convertido en uno de los primeros productores de setas del mundo, se utilizaba un soporte de estiércol de caballo, que hoy ha sido sustituido por un "compost" preparado a partir de paja de arroz por un sistema muy sencillo, que consiste en remojar la paja con agua durante 24 horas para secarla después. Una vez inoculado, se mantiene el lecho húmedo y la recolección puede hacerse en un plazo de 4 a 6 semanas, obteniéndose de 25 a 30 Kg de setas por cada 100 Kg de paja seca.

En lugar de paja de arroz se pueden utilizar también otros residuos, como paja de trigo, restos del cultivo de maíz, bagazos, hojas de platanera, tallos de tabaco, jacinto de agua, serrín y residuos de algodón. Con este último se logran rendimientos muy altos: de 40 a 50 Kg de setas por cada 100 Kg se sustrato seco.

El champiñón es una de las especies de setas más comerciales, que crece en sustratos humícolas y se reproduce por esporas al encontrar un medio propicio en el que se reúnan las condiciones precisas de nutrición, temperatura y humedad. Sus antiguos soportes de cultivo han sido susti-

tuidos por un sustrato obtenido de paja de cereales, así como materiales que aporten nitrógeno orgánico, fósforo, potasio, cal, etc. El aporte de nitrógeno orgánico puede hacerse con sangre desecada, estiércol avícola o, directamente, con urea. El sustrato, debe someterse a una pasteurización previa para destruir los organismos perjudiciales que hubieran podido desarrollarse durante su preparación y fermentación húmeda.

El sustrato agotado constituiría un buen "compost" agrícola, en atención a su grado de humificación, sus contenidos de nutrientes y su relación C/N (de 11 a 15), pero no siempre es posible darle este destino, ya que aunque está libre de nematodos, ácaros, etc., contiene, las esporas cuyo posterior desarrollo sobre el suelo perjudica los cultivos agrícolas. Hay otras opciones como es destinarle a alimentación animal o a digestión anaerobia, cuyos lodos ya serían aptos para su empleo como enmienda orgánica (MADAM, M. 1.988).

Este tipo de aplicación de biomasas residuales es, pues, una realidad que se ha de ver muy potenciada en el futuro por tratarse de cultivos intensivos de ciclo corto que requieren muy poco espacio.

8.5 - Vermicultura.-

La vermicultura es con certeza el último de los procedimientos introducidos para el tratamiento de residuos de origen vital, surgido como consecuencia del potencial reproductivo de determinados tipos de lombrices, como es la Eisenia fétida comercializada con el nombre de lombriz roja californiana, y que ofrece la peculiaridad de vivir y desarrollarse en una zona de suelo muy superficial, muy cargado de materia orgánica, o directamente sobre residuos orgánicos.

Cuando eclosionan los huevos, tras un período de incubación de tres semanas, el individuo juvenil pesa unos 5 mg convirtiéndose en adulto, con capacidad reproductora, en cuatro a seis semanas con un peso de 400 a 800 mg; es decir, aumenta un peso entre 80 y 160 veces, en 30 a 40 días. Para lograr este crecimiento consumen diariamente una cantidad igual a su propio peso, de la cual expulsa el 60% en forma de humus, que

constituye un excelente compost para el suelo, invirtiéndose el 40% en biomasa de crecimiento y consumo energético del individuo.

Los límites de composición de este vermicompost aparece en la Tabla XIX.

TABLA XIX

ANALISIS DEL HUMUS DE LOMBRIZ

Humedad	42 - 66%
pH	6,5 - 7,9%
Mat. orgánica	35 - 70%
Nitrógeno	1,4 - 2,9%
P_2O_5	0,8 - 5,0%
K_2O	1,1 - 2,5%
Calcio	5 - 12%
Hierro	0,8 - 3%
Manganeso	225 - 1.500 p.p.m.
Cobre	80 - 400 p.p.m.
Cinc	150 - 1.600 p.p.m.
Cobalto	10 - 50 p.p.m.

Se trata, pues, de un producto muy bueno, con alta capacidad amortiguadora de pH alrededor de la neutralidad, que se excreta por las lombrices en forma aglomerada, que tiene la materia orgánica y mineral en forma utilizable por las plantas, y que, además, contiene enzimas varias que continúan la descomposición del producto después de excretado. Las lombrices usan todo tipo de residuos orgánicos, y aunque, como es lógico, su calidad final dependerá de la del sustrato de partida, podrían ser utilizadas para separar las fracciones minerales y metálicas, no utilizables por la lombriz (BOUCHE, 1983). Parecen presentarse algunas limitaciones para el empleo de residuos de súsidos, debido a su contenido en cobre, sin embargo, el problema parece estar en vías de superación mediante una separación de la fase sólida del residuo que es la que se destina al sustrato de lombriz (GONZALEZ HURTADO, J.L., 1.990). No obstante, el

residuo debe utilizarse pretratado, es decir, después de haber sido sometido a una etapa termofílica aerobia en la que por alcanzarse temperaturas superiores a los 50ºC la lombriz no podría sobrevivir y en la que, además, tiene lugar una higienización del sustrato.

La biomasa de las lombrices es utilizable como cebo de pesca, para ser inoculada al suelo y así crear poblaciones sobre el mismo y, fundamentalmente, para obtener una harina de lombriz, que es un excelente alimento para el ganado, como puede deducirse del siguiente análisis (TABLA XX), que puede considerarse representativo.

TABLA XX

ANALISIS REPRESENTATIVO DE HARINA DE LOMBRIZ

Proteína	66%
Grasa	8%
Hidratos de carbono	14%
Cenizas	12%

La presencia de metales en el residuo puede tener algún riesgo, tanto por lo que incrementa su concentración en el humus final como por su posible acumulación en la lombriz. En este último caso, se ha demostrado que los niveles de concentración han de ser muy altos para ocasionar la muerte de la lombriz. De los metales tóxicos estudiados, Cd, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni y Ag, sólo el cobre ha resultado mortal para una concentración en el residuo superior a 2.500 p.p.m., proporción a la que difícilmente puede llegarse (HARTENSTEIN, R., 1.980). No obstante, con el cadmio se observa algún grado de acumulación en la lombriz.

Pero por encima de estos posibles problemas, el mayor inconveniente de este sistema es la necesidad de espacio, pues una planta para tratar 10 t de residuos por día, que produciría unas 7 t/año de proteína en forma de harina y unas 2.200 t de compost, requeriría una Ha. de superficie, a lo que habría que añadir el costo de la mano de obra, el control químico y biológico del proceso, las amortizaciones, etc.

9.- VIABILIDAD PARA LA ALIMENTACION HUMANA.-

La inclusión de este capítulo tiene un carácter testimonial; se trata más de estimar posibilidades que de señalar probabilidades.

Si se exceptúa el cultivo de setas y las relativamente pequeñas cantidades de levaduras, las demás alternativas relacionadas con la alimentación humana no son más que hipótesis de trabajo rayanas, hoy por hoy, con lo utópico. Las proteínas obtenidas de los zumos separados en el fraccionamiento mecánico, que posiblemente sean de los productos más cercanos al consumo humano, requieren todavía una serie de procesos separativos que económicamente lo invalidan.

Sin embargo, hay que señalar, más como baldón que como éxito, que en áreas geográficas que padecen hambrina endémica, como es Indonesia, el hombre ha tenido la perspicacia y el ingenio suficiente para, aún careciendo de conocimientos científicos, utilizar para su consumo residuos de soja, coco y cacahuetes a los que someten a tratamiento con vapor tras haberles inoculado un microorganismo (con frecuencia se trata de Rizopos Oligosporus), cuyas enzimas penetran en el sustrato, le hidrolizan, le hacen más digestible y aromático, al mismo tiempo que se forman cantidades discretas de vitamina B-12. Es curioso comprobar que aunque haya sido de manera empírica, con este proceso lo que hacen es inhibir la generación de bacterias productoras de toxinas. Sin duda alguna, son éstas, y muy en concreto las aflatoxinas, el mayor condicionante sanitario para el uso alimentario de residuos, pues los restos de maíz, cacahuetes, avellanas, semillas de algodón, etc., están frecuentemente contaminados con aflatoxinas por encima del límite de 30 p.p.m. permitido por la OMS.

Hace unos treinta años, se descubrió que en ciertas zonas del Chad, se consumía un alga azul (la espirulina) que crecía en aguas fuertemente bicarbonatadas, con la que en el ámbito doméstico se elaboraban galletas secándolas al sol. Estas algas contienen entre el 60 y 68% de proteínas de buena calidad, con un rendimiento de unas 25 t/Ha. y año,

seis veces superior al que puede proporcionar una Ha. de trigo; pero evidentemente ya no se trata de utilizar un residuo, sino de una nueva posibilidad de un cultivo; una más entre las muchas que la diversidad genética de la naturaleza puede ofrecer.

La propia lombicultura también tiene sus adeptos. Los chinos consumen lombrices desde hace más de 2.000 años y hay ciertas poblaciones del Africa negra que también se alimentan con ellas. En todo caso, se trata de situaciones muy puntuales, que se producen en áreas geográficas de bajo nivel de desarrollo, cuya evolución previsible en hábitos de consumo ha de ir en sentido opuesto.

Por otra parte, en la actualidad, el hombre medio sabe distinguir plenamente entre alimentación y nutrición; en términos generales, está informado del significado de ésta y de su dependencia de la primera, pero no por ello se conforma con exigir a los alimentos su adecuada capacidad y equilibrio nutriente, sino que requiere, además, que tengan unas cualidades atractivas y gratificantes. En una palabra, son pocos los sectores de población que hoy se conforman con alimentarse para vivir, ya que la alimentación se ha incorporado de lleno a la cultura de los pueblos como un factor diferencial.

En principio, pues, hay que contar con que la biomasa residual sería de dudosa aceptabilidad, aun en el supuesto de que pudieran superarse los problemas sanitarios, técnicos y económicos.

Por otra parte, y como antes se indicaba, el desarrollo de la agricultura apoyado en los conocimientos científicos y técnicos, ha aumentado la productividad por unidad de superficie en más de cuatro veces respecto de hace un siglo, y todo hace pensar que se ha de lograr un incremento semejante en los próximos 15 a 20 años.

Todo ello, pudiera ser un índice de que el uso alimentario de las biomasas residuales es la opción de menos probabilidad en un futuro mediato.

Sin embargo, la situación no está tan clara: en los 20 años transcurridos entre 1.964 y 1.985, la producción alimentaria mundial por habitante se incrementó en un 12% a pesar del incremento demográfico, pero al mismo tiempo, y a causa de este incremento de población, la superficie cultivada pasó de 0,44 Ha./h. en 1.964 a 0,31 Ha./h. en 1.985. Naturalmente, el incremento de producción se consiguió, entre otras razones, aumentando el consumo de fertilizantes que pasó de 29,3 kg./persona y año a 85,3 kg./persona y año.

Con independencia de que las cifras medias globales no reflejan la realidad social de las áreas deprimidas, esta presión sobre los sistemas de base puede ser insostenible ante el deterioro que origina en los sistemas productivos. Desde la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, en su Informe de Abril de 1.987, se han hecho las primeras llamadas para el logro de una mayor productividad de los insumos, cuyo coste aumenta por encima de los costes medios agrícolas. Naturalmente, esa mayor productividad puede lograrse por disminución de los insumos manteniéndose la producción, cosa que no parece posible, o incrementando las cantidades de los productos aprovechables para consumo, siendo aquí donde entraría en juego la disminución de residuos por su utilización alimentaria.

10.- EPILOGO.-

Después de cuanto queda expuesto, la contestación a la pregunta planteada por el título de este trabajo ha de ser doblemente afirmativa, aunque la valoración como recurso de los residuos de origen vital requiera determinadas puntualizaciones.

Bastaría el simple hecho de ser de residuos, sin mayores cualificaciones, para que estas formas de biomasas tuvieran que ser consideradas como problema; pero, además, sus peculiares características orgánicas les han convertido desde siempre en focos potenciales de riesgos de salubridad y de contaminación biológica, lo que implica la necesidad de su adecuada gestión. La diferente cuantía y forma en que ahora se generan no ha hecho más que agudizar esta necesidad. La Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo (C.M.M.A.D., 1.989) estima que sólo entre 1.984 y 1.987 unos 60 millones de personas murieron en el mundo a causa de enfermedades gastrointestinales, relacionadas con la contaminación biológica de aguas potables. Pero también es verdad que su propia naturaleza abre caminos para su particular gestión, agotando las posibilidades de su uso.

Las dos vías de solución con que cabe plantear cualquier problema de residuos (limitar su producción o sacarles el mayor partido posible hasta llegar a su inertización),se identifican en este caso con la acción de los organismos simplificadores, por lo que bastará transformarlos en productos directamente incorporables a alguna de las etapas de los ciclos biogeoquímicos; es decir, existe la posibilidad de armonizar su gestión con las directrices de las leyes naturales.

Sin embargo, el conjunto de soluciones apuntadas no admite la generalización de preferencias, debiendo elegirse dentro de las más racionales en función de las áreas geográficas y de sus necesidades, del impacto ambiental producido y de las exigencias de salubridad pública; y no sólo por razones económicas.

La razón económica, aislada y en abstracto, no puede primar en un

futuro muy próximo, pues se ha llegado a un momento en el que aparece una presión ecológica sobre nuestras propias perspectivas económicas. Es decir, se demanda de la naturaleza, de nuestro medio ambiente, mucho y con excesiva rapidez, apareciendo claros síntomas de que éste no podrá soportarlo.

Sin embargo, de aquí al año 2.000 la producción de alimentos debe experimentar un crecimiento acumulativo anual del 3 al 4% para la supervivencia de los nuevos habitantes del planeta que en este período se incorporen. Y esto sólo puede conseguirse agotando el uso de la biomasa vegetal o animal, es decir, convirtiendo los residuos en alimentos, o manteniendo la productividad de los suelos agrícolas.

Se han apuntado ya suficientes razones para abundar en el segundo objetivo, con independencia de lo que se pueda progresar en el uso de residuos en la alimentación ganadera, que sería otra forma de aliviar la demanda de la biomasa vegetal más noble para estos fines.

Sin embargo, el incremento de la productividad del suelo se presenta problemático por el aumento de la erosión, que degrada la totalidad de los recursos básicos. Cada año, a escala mundial, unos 21 millones de Ha. pierden productividad y amenazan de desertización, lo cual sólo podrá evitarse con una racional utilización del agua disponible y de los productos agroquímicos, concurrente con una reposición acelerada de materia orgánica procedente de residuos ganaderos y del acondicionamiento de la biomasa vegetal residual, ya que aquellos quedan limitados a causa de la mecanización.

El consumo energético para el logro de estos objetivos no debe ser preocupante, pues la agricultura no es un gran consumidor de energía: en los países industrializados equivale al 3,5% del consumo total, y en los países en desarrollo su proporción se eleva al 4%. Duplicar la producción de alimentos en el llamado Tercer Mundo mediante el uso de fertilizantes orgánicos y de síntesis supondría un consumo añadido de unos 140 millones de tep, cifra que representa sólo un 5% del consumo anual de energía; y que parece sería totalmente soportable.

La conversión energética y en productos químicos es otra alternativa de interesantes posibilidades, más aún si se tiene en cuenta que, en muchos de los procesos, aún queda una parte reciclable a la agricultura como materia orgánica compostada.

La biomasa vegetal, en general, no sólo la residual, es todavía, una de las fuentes renovables de energía más utilizada. Aproximadamente el 15% de la energía mundial consumida, es decir, unos 1,4 Tw, proceden de biomasa. La cuestión está en que sólo una parte relativamente pequeña es biomasa residual. Se utiliza fundamentalmente leña y en menor cuantía residuos agrícolas y ganaderos. El 70% de los habitantes de los países en vías de desarrollo, usa leña como sistema básico de aprovisionamiento energético, con un consumo medio de unos 700 kg/persona y año. Esto supone que, al menos en estos países, el ritmo de consumo es superior al de producción, debiendo dejar de considerarse como un recurso absolutamente renovable. Esta situación no puede mantenerse por mucho tiempo por lo que se impone recurrir al uso de las biomasas residuales; pero no por procedimientos artesanales, sino por otros más eficaces desarrollados al amparo de las nuevas directrices, y pensando en una aplicación familiar o de un número pequeño de familias. Sin embargo, para esto se requiere un apoyo técnico que ha de proporcionarse por vía institucional, dado que el aprovechamiento energético de residuos es tanto más frecuente cuanto más deprimida sea el área geográfica.

Parece pues, claro que los residuos de origen vital han de considerarse ya como un recurso. Su eliminación por razones higiénico-sanitarias es obligada, pero no lo es menos su aprovechamiento para disminuir la demanda de recursos del medio y la presión ecológica de éste sobre nuestras estructuras vitales y de convivencia.

Naturalmente, la valoración como recurso no soporta todavía su comparación con los habitualmente empleados, sobre la base de los patrones económicos convencionales. Pero esta es una cuestión que deberá abordarse y resolverse desde otras instancias. Baste indicar que desde las Naciones Unidas se ha lanzado, muy recientemente, la idea del

desarrollo sostenido, entendiendo como tal un proceso de cambio por el que la explotación de los recursos y los progresos tecnológicos concuerden con las necesidades presentes y futuras. Esto implica una ordenación del consumo, de la tecnología y de la organización social, que dé paso a una nueva era socio-económica, en la que el concepto de desarrollo lleve aparejado un menor consumo de materias primas y de energía, o la revalorización de productos hoy considerados como residuales.

En este proceso integrador las cuestiones relacionadas con la higiene, salubridad y sanidad públicas, deben tener un particular protagonismo, pues demostradas las interrelaciones entre salud, medio ambiente y desarrollo, lo que hoy se conoce como acciones preventivas, hay que globalizarlas, y anticiparlas, en los sistemas y procesos de conservación del Medio Natural.

Por otra parte, y desde una perspectiva exclusivamente científica, no se puede dejar de señalar que el ritmo de los cambios medio-ambientales está sobrepasando la capacidad evolutiva y de anticipación de las disciplinas científicas, y con ella la posibilidad de evaluación y asesoramiento. Los problemas se manifiestan cada día con carácter más multidisciplinar y la colaboración entre los distintos especialistas alcanza niveles de la mayor exigencia para poder progresar en el conocimiento de los mecanismos íntimos de la propia naturaleza, incluidos, como es lógico, los sistemas bióticos, que son los que en última instancia han de proporcionar los instrumentos para el éxito de ese desarrollo sostenido que se preconiza.

En esta línea, y para terminar, quisiera traer a colación una anécdota esclarecedora: con ocasión de la investidura de Dr. Honoris Causa en la Universidad de Valadolid del Académico Miguel Delibes, le preguntaron por las fuentes de inspiración para su fecundidad literaria, a lo que simplemente contestó que "le había bastado tener lo ojos abiertos para ver y los oídos alerta para escuchar". Es verdad, la observación de la Naturaleza es la base de toda creación y el tema aquí expuesto no se aparta de ello.

No se me oculta que en los planteamientos anteriores, no se ha llegado a un claro deslinde entre la ilusión de lo deseable y la realidad de

lo posible. Decía José Luis Sampedro en su discurso de ingreso en la Real Academia Española que "muy colmado de ciencia está occidente, pero muy pobre de sabiduría". Mantengo la esperanza de que con decisión y esfuerzo lo deseable y lo posible se identifiquen para que la sociedad suba algún peldaño hacia la sabiduría.

He dicho.

11.- BIBLIOGRAFÍA

AGUILERA, J.M y SAN MARTIN, R. (1985). Biomass. 8, 301-313.

ALIBES, X., MUÑOZ, F., FACI, R y BERGE, PH. (1984). En "Nuevas fuentes de alimentos para la producción animal. II". Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.

ALIBES, X., MUÑOZ, F., FACI, R., PERE, J y GONZALEZ, A. (1982). XX Reunión Científica de la SINA. Zaragoza.

ALLSUP, J.R. (1978). En "Methanol Technology and Application in Motor Fuels". J.K.Paul. Ed. Noyes Data Corp. Park Ridge, 285.

ALVARADO, R., CORRAL, J., GARCIA-MAS, I y VIEITEZ, J.M. (1981). "Biologia y Medio Ambiente". 73-106. CEOTMA. Madrid.

ARANDA HEREDIA, A. (1983). Le Nouvel Oliver. 1, 22-27.

ASADA, Y y KAWAMURA, S. (1986). Appl. Envir. Microbiol. 51, 1063-1066.

BALLESTEROS, M., BALLESTEROS, I., CABAÑAS, A., SAEZ, F y CARRASCO, J. (1991). Actas del I. Congreso Internacional de Química de la ANQUE.

BASSHAM, J.A. (1975) "Cellulose as a Chemical and Energy Resource". Biotech and Bioengr. Symp. Nº 5. Edit. Intersciencie. New York.

BECK, S.R., MUFFMAN, W.S., LANDEENE, B.L y HALLIGAN, J.E. (1979). Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 18(2), 328.

BECK, S.R. y HALLIGAN, J.E. (1980). "Utilization and Recycle of Agricultural Wastes and Residues". Michael L. Shuler. CRC Press. Boca Raton. Florida.

BECKMAN, E. (1919). British Patent 151.229.

BOUCHE, M.B. (1983). "Les lombriciens et les traitment de déchets". Compost. Information, 11, 2-5.

BOZA, J., FONOLLA, J., AGUILERA, R., SANZ, R., MOLINA, E., GUERRERO, J., ESCANDON, V., PRIETO, C y MUÑOZ, F. (1984). "Nuevas Fuentes para la producción de alimentos II". Trabajo presentado a la II Reunión Científica celebrada en la E.T.S.I.A. de Córdoba del 16 al 18 de mayo 1983. Servico de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.

BROWNELL, H.H y SADDLER, J.N. (1987). Biotech. Bioeng. 29, 228-235.

BRUCNENBER, P.H., DE BOT, P.H.H., VAN DIJKEN, J.P y SCHEFFERS, W.A. (1983). Eur. J. Appl. Microbiol. Biotech. 18, 287-292.

BUI, K y GALZY, P. (1990) En "Yeast Technology" pp. 241-254. Spencer, J.E.T y Spencer. D.M. (Eds). Springer-Verlag. Berlin. New York. London. Paris.

BUMPUS, J.A y AUST, S.D. (1987). Bio Essays. 6, 166-170.

BUMPUS, J.A and AUST, S.D. (1987). "Biodegradation of chlorinated organic compounds by Phanerochaete chrysosporium". A Wood Rotting Fungus. In "Solving Hazardous Waste Problems". Ed. J.H Exmer, American Chemical Society Symposium Series. American Chemical Society. Washington. D.C. 1987, 338, 340-349.

CALVO CALVO, F.A. (1975). "Cara y Cruz de Mercurio". Real Academia de Farmacia. Madrid.

CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ENERGIA. (1981). "La Biomasa como fuente energética". Madrid.

COLBERG, P.J. y YOUNG, L.Y. (1985). Applied and Environmental Microbiology. 49 (2), 345-349.

COLBERG, P.J. y YOUNG, L.Y. (1985). Applied and Environmental Microbiology. 49 (2), 350-358.

COLWELL, R.R. (1987). Appl. Bacteriol Suppl. 63, 1.

COMISION MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL DESARROLLO (1988). "Nuestro futuro común". Alianza Editorial. Madrid. (Traducción de la obra "Our Common Future").

CHANG, M.M., CHOU, T.Y.C. y TSAO, G.T. (1981). Adv. Biochem. Eng. 20, 15-41.

CHANYA SAK, V., HIRAI, M y KUBOTA, M. (1982). J. Ferment. Technol. 60, 439-446.

DADAY, A., PLATZ, R.A y SHITH, G.D. (1977). Appl. Environ. Microbiol. 34, 478-483.

DALE, B.E y MOREIRA, M.J. (1982). Biotechnol. Bioeng. Symp. 12, 31-43.

DEMEYER, A., JACOB, F., JAY, M., MENGUY, G y PERRIER, J. (1985). "La conversion bioenergética de la radiación solar y de las biotecnologías". Ed. Alhambra. Madrid.

DETRIE, J.P. (1969). "La pollution Atmospherique". Dunot. Paris.

DUFFUS, J.H. (1983). "Enviromental Toxicology". Traducción española. Ediciones. Omega. Barcelona.

DUNLAP, CH.E y CHINANG LIN-CHANG. (1980). "Celulosa Degradatación: A comun Link". En "Utilization and Recycle of Agricultural Wastes and Residues". Ed. CRC Press. Boca Raton. Florida.

EATON, D.C. (1985). Enzyme Microbiol. Technol. 7, 194-196.

EDWARDS, P. (1980). "Food potential of aquatic macrophytes". ICLARM Studies and Rewies S. International Center for Living Aquatic Resources Management. Manila. Philippines.

ELSHAFEI, A.M., VEGA, J.L., KLASSON, K.T., CLAUSEN, E.C y GADDY, J.L. (1991). Bioresource Technology. 35, 73-80.

FAN, L.T., LEE, Y.H y GHARPURAY, M.M. (1982). Adv. Biochem. Eng. 23, 157-194.

F.A.O. (1980). Documento E.C.a 22/80 (4a).

F.A.O. AGRICULTURAL SERVICES BULLETIN. (1982). "Residuos Agrícolas". Roma.

FERNANDEZ CARMONA, J., CERVERA, C y MARTIN, J. (1984). En "Nuevas fuentes de alimentos para la producción animal II". Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.

FLORES, M. (1981). "Biologia y Medio Ambiente". 224-234. CEOTMA. Madrid.

GALVEZ, J. (1978). En Nuevas Fuentes de alimentos para la producción animal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Córdoba.

GALLARDO-LARA, F y NOGALES, R. (1987). Biolog. Wastes. 19, 35-62.

GAUTHIER, M.J. y BREITTMAYER, V.A. (1990). Mundo Científico, 10, 1032-1034.

GLASER, J.A. (1988). En "Alternative Waste Treatment Systems". pp. 108-117. Elsevier Applied Sciencie. London. New York.

GLENN, J.K y GOLD, M.H. (1985). Arch. Biochem. Biophys. 242, 329-341.

GONZALEZ, G., OCIO, E., TREVIÑO, J. TORTUERO, F y GONZALEZ, V. (1974). "Preliminary trials with Aragon and du Puits alfalfas as sources of LPE". Proceedings of the 5th General Meeting European Grassland Federation. UPPSALA. pp. 89-94.

GONZALEZ, G., RICHELET, A. y OCIO, E. (1976). Rev. Nut. Animal. 15, 15-21.

GONZALEZ, G y ALZUETA, C. (1982). "Yield, Chemical composition and nutritive value of the pressed pea vines. Pisum sativum L. After L.P.C extraction". First. Int. Conf. on Leaf Protein Res.

GONZALEZ, G. (1983). "El fraccionamiento de la biomasa verde, una tecnología de vanguardia". Discurso de ingreso en la Academia de Doctores de Madrid.

GONZALEZ HURTADO, J.L., SANCHEZ, M y MUÑOZ, E. (1990). Actas 1er Congreso Internacional de Química de la ANQUE. Tenerife.

GONZALEZ-VILLA F.J y MARTIN, F. (1985). Agriculture, Ecosystems and Environment. 14, 267-278.

GOLUEKE, C.G. (1981). Biocycle. 22, 36-40.

HARTENSTEIN, R., NEUHAUSER, E.F. y COLLIER, J. (1980). Environ.Qual. 9(1), 23-26.

HAWTHORN, J. (1981). "Foundations of Food Sciencie". Ed. Freeman. Oxford. Trad español. Edit. Acribia. Zaragoza. (1983).

HIPKIN, H.G. y BASUINO, D.J. (1978). "Syngas From Manure: A conceptual Plant Design". Report prepared by Bechtel National, for Texas Tech. University.

McHALE, J. (1970). "Ecological Context". George Braziller. New York.

HASHIMOTO, A.G., CHEN, Y.R. y KRUSKA, R.L. (1979). "The overale economic of anaerobic digestion", Fist. Int. Sym on Anaerobic Digestion. U.K. University College. Cardiff.

HENDERSON, A.R., McDONALD, P y ANDERSON, D.M. (1982). Anim. Feed. Sci. and Technology. 7, 303-314.

HOBSON, P.N. (1984). "Anaerobic conversion of agricultural wastes to chemical or gases". Rowett Research Institute. Bucksburn. Aberdeen. Scotland.

HOMB, T. (1984). "Wet Treatment wich Sodium Hydroxide". En F. Sundstol and E. Own. Elsevier. Amsterdam. pp. 106-126.

IBRAHIN, M.N.M y PEARCE, G.R. (1980). Agric. Wastes. 2, 253-259.

IGLESIAS , E y PEREZ, V. (1989). Biolog. Wastes. 27, 115-142.

JIMENEZ GOMEZ, S y MINGOT, J.I. (1975). Anal. R.Acad.Farmacia. XLI, 309-322.

JIMENEZ GOMEZ, S. (1982). En "Energias Renovables y Medio Ambiente". 39-49. CEOTMA. Madrid.

JIMENEZ, S., CARTAGENA, MªC y ARCE, A. (aceptado marzo 1989) Environmental Technology Letters.

JIMENEZ, S., CARTAGENA MªC y ARCE, A. (1989 a). Biological Wastes. 29, 211-220.

JIMENEZ, S., CARTAGENA MªC y ARCE, A. (aceptado abril 1989 b). Agronomie.

JIMENEZ, S., CARTAGENA, MªC y ARCE, A. (1990). Biomass. 21, 43-54.

JUSTE, C., SOLDA, P y DUREAU, P. (1980). "Mise au point de tests agronomiques legers permettant de déterminer simultanément la phytotoxicité globale des compost d'ordures ménagères et leur degré de maturation". Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie INRA. Bordeaux.

JUSTE, C. (1980). "Advantages et inconvernients de l'utilisation des compost d'ordures ménagères comme amendement organique des sols ou supports de culture". International Conference on Compost, 22-26 January. Madrid. MOPU.

KASTER, J.R. y ROBERTS, R.S. (1990). Biotech. Lett. 12, 57-60.

KEELER, R.F., VAN KEMPEN, K.R. and JAMES, L.F. (1978). "Effects of Poisonous Plants on Livestok". Academis Press. New York.

KEELEY, G.M y SKIPPER, J.L. (1988). En "Alternative Waste Treatment Systems" pp. 120-131. Elsevier Applied Science. London. New York.

KLOPFESNSTEIN, T.J y BOLSEN, K.K. (1971). J. Animal. Sci. 33, 290.

KUESTER, J.L. (1979). "Liquid Hydrocarbon Fuels from Biomass". ACS/CSJ Chemical Congr. Honolulu. April 1 a 6.

LASTAVICA, C.C. (1989). N. Engl. J. Med. 320, 133

LAWRIE, R.A. (1977) "Ciencia de la Carne". Ed. Acribia. Zaragoza.

LLAMAS, B.I.F. (1982). "Estudio del proceso de digestión anaerobia de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos de Madrid". Tesis Doctoral. U.P.M.

LUCKEY, T.D. and VENUGOPAL, B. (1977). "Metal toxicity in Mammals". Vol 1. Plenum Press. New York.

MADAN, M., SHARMA, N y BISARIA, R. (1988). En "Alternative Waste Treatment Systems" R. Bhamidimarri (Ed.) pp. 132-141. Elsevier Applied Science. London. New York.

MADRID, A. (1979). "Aprovechamiento integral de subproductos de matadero" G.D. Asociados, S.A. Madrid.

MAILMAN, R.B. (1980). "Introduction to enviromental Toxicology". pp. 34-43. Editores: Frank R. E.Guthie and Jerome J.Perry. Elsevier. New York.

MAJID, F.Z. y AKHTAR, N. (1980). "Use of aquatic algae and aquatic weeds as livestock feeds". Paper presented at a Seminar on Maximum Livestock Production on Minimum Land, 16-17 January. Bangladesh.

MARTIN MARTIN, A., BORSA PADILLA, R., MAESTRO DURAN, R., ALBA MENDOZA, S., FIESTAS, J.A. (1990). "Actas del I Congreso Internacional de Química de la ANQUE. Madrid.

MOPU. (1990) "Medio Ambiente en España 1989". Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.

M. MUNICIO, A. (1981). "Biología y Medio Ambiente". 183-205. CEOTMA. Madrid.

MOREL, J.C. COLIN, F., GERMON, J.C., GODIN, P. y JUSTE, C. (1985). En "Composting of Agricultural and other Wastes". pp. 56-72. Elsevier Applied Science Publishers. London. New York.

MORJANOFF, P.J. y GRAY, P.P. (1987). Biotech. Bioeng 29, 733-741

ORTEGA y GASSET, J. "Meditación de la Técnica". Ediciones de la Revista de Occidente. (1939). 6ª Edición. Madrid. 1968.

OWEN, E., KLOPTENSTEIN, T. y URIO, N.A. (1984). En "Straw and other fibrous by-products as feed" F. Sundstol and E. Owan (Ed.) Elsevier. Amsterdam. pp. 248-292.

PREEZ, J.C., BOSCH, M. y PRIOR, B. (1986). Appl. Microbiol. Biotech. 23, 228-233.

REED, G. y NAGODAWITHANA, T.W. (1991). "Yeast Technology" 2ª Ed. pp. 413-440. Van Nostrand Reinhold. New York.

RODRIGUEZ, M., PEREZ, J., RAMOS CORMENZANA, A y MARTINEZ, J. (1988). J. Appl. Bacteriol. 64, 219-226.

ROSS, E.M. (1984). "Anaerobic Treatmen Concepts". Proceding Enviromental Conference. 11.IV-T.A.P.P.I.

RYU, D.D., LEE, S.B., TASSINARI, T y MACY, C. (1982). Biotechnol. Bioengen. 24, 1047-1067.

SACHETTO, J.P., ARMANET, J.M., ROMAN, A y JOHANSSON, A. (1987). "Degradation of Lignocellulosics in Rumiants and in Industrial Processes". Elsevier Applied Science. London. New York.

SAINT GIRONS, I. y BARANTON, G. (1990). Mundo Científico. 10, 1049-1052.

SANTA MARIA, J. (1982). "AGROENERGETICA". 70-104. Instituto de España. Madrid.

SCHNEIDER, H., WANG, P.Y., CHAN, Y.K y MALESKA, R. (1981). Biotechnol. Lett. 2, 89-92.

SHEETS, T. J.(1980). En "Introduccion to Enviromental Toxicology". 24-33. Editores Guthirie, F. E. and Perry, J.J. Elsevier. NewYork.

SHULER, M.L.. (1980). En "Utilization an Recycle of Agricultural Wastes and Residues". pp. 68-128. CRC. PRESS. Boca Raton. Florida.

SLININGER, P.J., BOTHAST, R. J., VAN CAUWENBEG, J.E. y KURTZMAN, C.R. (1982). Biothec. Bioeng. 24, 371-384

SOLIVA, M., SAÑA, S., VALERO, S., FLORENSA, P. y GIRO, F. (1990). "Actas del I Congreso Internacional de Química de la ANQUE.

SCRIMSHAW, N.D. (1986). "Nutricional and tolerance considerations in the feeding of single cell protein". In "Food and Biotechnology" Proc. Inter. Symp. Quebec.

SORLINI, C., ANTIREONI, V., FERRARI, A. y RANALL G. (1986). International Symposiun on Olive by Products Valoration. 81-88. Sevilla.

STAMM, A.J. (1956). Ind Eng. Chem. 48 (3), 413

STOKER, M.S. and SEAGER, S.L. (1976). "Environmental Chemistry: Air and Water Pollution". Scott Foresman. Glenwiew.

TAGAKY, M. (1987). Biotechnol Bioengen 29, 165-170

VALLES, S., FLORS, A y LEQUERICA, J.L. (1980). Agroquimica y Tec. Alimentaria 20 (2) 189-208

VAZQUEZ, G., LEMA, J.M. ANTORRENA, G y PARAJO J.C. (1984). II Congreso Nacional sobre Recuperación de Recursos de los Residuos. Tomo II. Tecnologías. 309-319. Soria.

VIAN, A. (1984). "Técnica y Medio Ambiente". Real Academia de Farmacia. Madrid.

VIDO, L. (1990). "Dossier. El Consejo Europeo". Centro Européen du Kirchberg. Luxemburgo.

VIEL, M., SAYAG, D., PEYRE, A y ANDRE, L. (1987). Biol. Wastes. 20, 167-185.

WATANABE, I. (1988). Plant Soil. 90, 343-357.

WILSON, R. K. y PIGDEN, W. J. (1964). Can J.Anim. Sci. 44, 122

WIT, J. (1982). Landwirtshaftliche Forschung, Sonderheft. 38, 297-304.

WITTAKER, R.M. (1975). "Comunities and Ecosystems" 2 nd. Edit McMillan. Inc. New York.

WONG, M.M.(1985). Environ. Pollut. Ser. A, 37, 159-174.

DISCURSO

DE

CONTESTACION

Por el Académico de Número Excmo.
Sr. D. Angel Vian Ortuño

Excmo. Sr. Director, Excmos. Señores, Señoras y Señores

El protocolo académico se establece que cuando se incorpora un nuevo académico a compartir nuestras tareas, sea algún numerario de la Institución quien desde esta tribuna exprese las felicitaciones de rigor, presente al recipiendario con palabras y juicios que sean antes síntesis que no análisis de su personalidad y comente el contenido y tesis del discurso de presentación.

El privilegio de recepción me ha correspondido en este caso a mí, por amabilidad de nuestro Director, coincidente con el deseo del nuevo compañero. Huelga decir que si se tratara de un análisis despersonalizado de las importantes aportaciones científicas del Prof. Jiménez, cualquiera de los compañeros de Academia podría haber ocupado esta tribuna con más méritos que quien os habla. Pero como a la síntesis que al acto conviene le va bien el aderezo del conocimiento personal, y más todavía si es íntimo, del nuevo colega y de las vicisitudes de su trayectoria, resulta que yo me encuentro como pez en el agua con esta encomienda, pues ninguno de los que me oís podéis estar tan unidos a nuestro protagonista de hoy, con vínculos científicos y personales tan estrechos como lo estoy yo. Esto ha de poner e imponer un punto de cariño en cuanto yo diga, y eso no importa, pues creo que cuadra bien, como ya he dicho, en una ceremonia en la que la cordialidad de la *laudatio* ha de estar por encima del rigor de la pura crítica.

Y claro está que le conozco bien: D. Segundo es uno de esos discípulos excepcionales que de vez en cuando nos nacen a quienes ejercemos el magisterio; de esos que están por encima de nuestros méritos y que forman algo así como las perlas de la corona con que suelen obsequiarnos los años de ejercicio procurando dejar nuestra huella a través de la calidad de los que nos sucedan. Aquí tenéis un caso así. Aquí tenéis mi mejor adorno.

Allá por el año 1.949 hubo un concurso en el INTA para incorporar un becario al Laboratorio que yo regía allí. Ganó el concurso el joven

Jiménez, que ya llevaba dos años de licenciado y que tenía muy avanzado su trabajo doctoral bajo la dirección del bien recordado amigo y compañero Prof. Burriel.

La incorporación de Jiménez al INTA creo que fue un revulsivo en su formación, pues me parece que vió allí, en sus tareas junto a mí, otra dimensión de la Química, la que esta Ciencia tiene cuando fuera de la pura especulación se proyecta en la indagación y aprovechamiento del para qué de las cosas. Lo que se llama tecnología. Ante un problema de "reformado" de gasolinas para su adaptación aeronáutica, fué decisiva su aplicación y buen juicio para lograr un gel de sílice, como catalizador, con poros dimensionados a la medida de las moléculas que habían de sufrir la transformación.

Sus cualidades científicas, entonces prometedoras y hoy soporte de una sólida realidad, su capacidad de esfuerzo, su generosidad y calidades conviventes eran tan marcadas que al proponerme el INI, en 1.952, que acometiera desde su raíz el problema de mejorar el beneficio de los yacimientos de pirita de Huelva -donde está el 60% de las reservas mundiales, de las que sólo se obtenía por tonelada exportada un beneficio no superior al jornal de un bracero- inmediatamente propuse al joven Jiménez para que viniera a hacerse cargo de la Sección de Análisis del nuevo Centro. Y allí, aprendiendo y enseñando a la vez, consiguió no sólo dominar primero y mejorar después los métodos analíticos de tan complejo mineral, sino merecer también que su Laboratorio fuera nombrado "fiel contraste" de los datos analíticos en los que se basaban grandes transacciones de minerales y sus productos, en las que una pequeña divergencia en el análisis suponía sumas de dinero muy considerables. Rebasando la esfera de sus obligaciones supo inventarse otras nuevas -éstas son las que se cumplen con mayor fervor, ya se sabe- y se sumó al esfuerzo de los que allí estaban obligados a la creación técnica, y así, aparte publicaciones varias, fue autor -primero conmigo, luego él sólo o con subordinados suyos- de un total de 17 patentes de invención referentes al aprovechamiento de priritas arsenicales, como son las onubenses. Por esta actividad fué condecorado con la orden de Alfonso X El Sabio y con dos medallas del INI.

Pero como es de los que al andar van dejando huella y haciendo camino, pronto alcanzó esa desazón que sienten los que, ya instruídos, ven su norte en el magisterio. Tras una temporada de funciones subordinadas, en varios Centros docentes -Facultad de Ciencias, Escuelas Técnicas Medias, Escuela Nacional de Medicina del Trabajo, en ésta como adjunto mío- dió un primer salto en 1.964 para ganar la Cátedra Química de la Escuela de Ingeniería Técnica Agrícola de Madrid y en 1.970 da el salto definitivo para, tras brillante oposición, ganar la Cátedra de Química de la Universidad Politécnica de Madrid, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, de la que llegó a ser Subdirector, hasta su reciente jubilación.

Fiel a su trayectoria, en este importante centro docente e investigador se aplicó con ánimo, logró hacer escuela, que hoy le sobrevive frutecida, y de la que se han logrado cinco profesores -futuros maestros- cinco doctores politécnicos y diez doctores científicos de las Universidades Complutense y Autónoma.

No es posible en este acto entrar en detalle de los trabajos allí alumbrados, pero de entre ellos no puedo dejar de destacar las dos de las líneas de trabajo que a mí me parecen de mayor relieve y originalidad:

Una línea es la obtención de fertilizantes de liberación lenta. La fertilización del suelo, como se sabe, siempre ha sido problema, o por no haber fertilizante o por la calidad impropia del disponible o por la deficiencia con que se aplica. Esta última dificultad es la más significante en el estado actual de la Tecnología. En efecto, se calcula que más del 60% de los elementos nutrientes que se aportan a los suelos se pierde por estar expuestos a la destrucción durante el tiempo que media entre la adición y el momento en que puede asimilar la planta. Por análoga circunstancia, otra buena parte del abono se difluye por las aguas de lluvia o de riego y llega a fertilizar biotas que crecen -caso de eutrofia o hipertrofia, que es como debiera llamarse esta figura, y no eutroficación como dicen en España los que saben más inglés que español-. Esta dislocación del abono va en evidente perjuicio para el medio. Todo viene de que alimentar al vegetal, que no tiene la facultad semoviente, no se puede hacer a diario, sino una o dos veces a lo largo de su ciclo vital. De ahí el interés mundial

por conseguir fertilizantes de liberación lenta, que permanezcan y no se destruyan ni sean arrastrados antes de que puedan cumplir su verdadera función.

La escuela de Jiménez opera por granulación de los productos activos, a los que luego recubre con capas de sustancias, como la colofonia o los residuos lignínicos y otros, que son compatibles y no heteróclitos respecto al complejo edáfico. Con esto y la regulación de la solubilidad del sustrato -sales dobles, por ejemplo- y el control de espesor de la capa protectora -que es técnica fácil- y regulando la superficie específica de ésta -que es función del diámetro del gránulo- se han conseguido resultados de gran valor tecnológico cuya aceptación tendrá que ser plena cuando los balances económicos se refieran al bienestar general -me atrevo adecir que planetario- y no al estrecho horizonte de la cuenta de resultados del fabricante, por muy multinacional que sea.

Se ha dicho que el que escribe se describe. Y, en efecto, aquí asoma de nuevo la preocupación profunda del profesor maduro por el tema del deterioro del medio y el deseo de proyectar nuevas luces sobre un tema que será cada día más recurrente. En el sistema dual Hombre-Naturaleza se van dibujando dos posturas: una se centra en la llamada hipótesis Gaia, muy radical, que postula un medio natural capaz de poder con todo, aún con el hombre y con los disparates de su civilización tecnológica; el final será el triunfo de Gaia con la desaparición de la especie humana, si preciso fuera. La otra postura, probabilística, postula el entendimiento y la compatibilidad entre las partes, pues se entiende que el medio tiene aún mucha elasticidad por jugar y el hombre sentido común suficiente para corregir lo corregible. La verdad, entretanto, es que la situación se va aporrillando más y más y que nos acercamos peligrosamente al lema de aquél caballero borgoñón que rezaba: "Rien ne m'est sure que la chose incertaine", que en román paladino viene a proclamar que lo único que tenemos seguro es la inseguridad, o como dicen en Méjico: que lo más seguro es que quien sabe.

Los cierto es que una mirada a la Historia nos afirmaría en que las grandes crisis de civilizaciones tienen que ver con la sobreabundancia, cuando se empieza a llamar necesidad a lo que es un constante cambio de caprichos.

De modo que si el "consumismo" que caracteriza cada vez más a nuestra civilización no somos capaces de engullirlo con la doble mandíbula de la ciencia y la conciencia, la disyuntiva será Gaia. La ciencia y la conciencia para que no sea así tiene mucho que ver con el abundoso discurso con que nos ha obsequiado D. Segundo; en él aparece implícita la relación entre consumo y residuo, y soportando científicamente esta relación están los principios primero y segundo de la Termodinámica: el de conservación y el de la entropía, pues por el primero, el residuo es ineludible, y por el segundo, todo ha de acabar en residuo.

Después de este comentario general no quisiera entrar en demasiadas particularidades del discurso. Apuntaré sólo algunas ideas:

1.- Los residuos de biomasas están constituidos en gran parte por sustancias complejas nacidas de también complejas síntesis vitales; son preciosas piezas de arquitectura química, de alto nivel entrópico, y no parece aconsejable darles un destino que no respete esa obra molecular de la naturaleza. Claro que despachar el problema mediante la combustión es atractivo, por su sencillez y, además, está avalado por el esfuerzo que exije la destrucción conservadora -o destrucción a medias- de materias tan estables; si actuamos sobre ellas con poca intensidad encontraremos velocidades de transformación pequeñas y, por tanto, ritmos de eliminación o de aprovechamiento en desacuerdo con los de su aparición.

2.- Se ha avanzado mucho en estos últimos años en la separación de los componentes básicos de las biomasas vegetales -celulosas, hemicelulosas, ligninas- para darles destino independiente, eludiendo un tratamiento general que no puede respetar las estructuras particulares. Me refiero, por ejemplo, a las lejías negras resultantes de la fabricación de celulosa, portadora de esos componentes y que tradicionalmente se ha venido quemando para quitarlas de en medio y obtener el exiguo éxito de recuperar el carbonato sódico para posteriores cocciones.

3.- Algo quisiera apostillar sobre la política del reciclado de los resi-

duos orgánicos para volverlos a los suelos, tras su compostado. Es un paso importante en el camino de la dignificación ecológica del proceder humano. Tiene dificultades, naturalmente -ya se sabe que no hay altura sin cuesta- que se resumen en costes altos, consecuentes con la necesidad de reunir cantidades importantes de residuos para lograr una economía de escala favorable, y con la lentitud del proceso fermentativo inherente a la producción del composto, lo que se traduce en un aumento considerable del capital circulante. Otra vez nos aparece la necesidad de cambiar el concepto de rentabilidad para sacarlo del estricto horizonte empresarial. Si el contenido en materia orgánica de los suelos españoles es, como promedio, un 1% y lo deseable sería un 1,7%, cabe decir que practicar el compostado y corregir así nuestras tierras vendría a ser un acto de patriotismo, variable o parámetro que no entra en las ecuaciones de rentabilidad.

4.- En puridad, análoga significación al compostado tiene la práctica de nutrir a los animales útiles con ciertos residuos vegetales; es otra manera más de devolver a la naturaleza lo que de ella se tomó. Pero hay que resolver la digestibilidad de los piensos posibles y la dificultad de atacar ligninas y celulosas, como ha comentado el Dr. Jiménez con amplitud. Como no se puede transformar en rumiantes a los que no lo son -salvo sorpresas que pueda guardar la Ingeniería Genética- sólo parece posible, de momento, transformar por fermentación esos sustratos no digeribles y destinar a la nutrición los concentrados de bacterias u hongos obtenidos, que a fin de cuenta son proteínas unicelulares. Ya tiene años esta idea, pues en la II Guerra Mundial los alemanes comenzaron a alimentarse con extractos de Torula útilis crecidos sobre sustratos celulósicos residuales; los aderezaban con glutamato cálcico para darles sabor a carne.

5.- Un paso más sería la alimentación animal, de modo análogo, utilizando como sustratos los lodos activados residuo de la actividad ciudadana. Problemas: la digestibilidad, la toxicidad de los metales para bacterias la presencia de mutágenos, etc.

Y cortaré aquí mis comentarios en honor a la brevedad que ya tengo muy conculcada.

Antes de terminar haré, no obstante, una citación de sus trabajos, en visión de conjunto, agrupados por objetivos. A saber:

- Estudios de espectrometría, colorimetría y fluorescencia de rayos X.

- Recuperación de metales por cambio iónico. Destacaré un método de recuperación de Zn de las Lejías férricas de lixiviación de cenizas de pirita, provocando el paso de catión cinc a anión clorocinc, y separar éste mediante resinas cambiadoras de anión.

- Preparación e identificación de varios arseniatos (Fe, Zn y Pb).

- Estudio del Arsénico en la tostación de las piritas.

- Recuperación del Cadmio de las lejías de piritas.

- Insecticidas organofosforados.

- Aprovechamiento integral de la bellota.

- Mezclas de sales de solubilidad controlada.

- Metanización de residuos agrícolas.

Esta relación, que no es completa, se expresa en:

- 68 publicaciones en revistas, muchas de ellas extranjeras, como Agrochimica, Canadian Journal of Chemistry, Chemie et Industrie, Industrial and Engineering Chemistry, Biological Wastes, etc.

- 22 Patentes de invención, en su mayor parte extendidas a otros países, como Alemania y EE.UU., de régimen no liberal, donde el

examen previo acredita la novedad y utilidad de lo patentado.

- 31 conferencias (6 de ellas en esta Academia, como miembro correspondiente) y el resto en centros de alta cultura científica (EE.TT.SS,, Iryda, C.S.I.C., Universidad Complutense), etc.

- 29 normas UNE.

- Numerosas participaciones en Congresos Científicos nacionales e internacionales, en los que ha obtenido premio a sus aportaciones e incluso ha presidido el Comité Científico de alguno de ellos.

- También son numerosas sus publicaciones de divulgación agronómica, actividad tan generosa como necesaria en este campo.

- Ha traducido la "Química superior" de Parrod (1.972).

- Y es coautor, con el Prof. Bercowich del libro "Las Patentes en la empresa", y coautor también de monografías como "Equilibrios en Disolución" y "Temas Complementarios de Química Analítica" con sus discípulos Dra. Rico Selas y Dra. Climent (1.983 y 1.984 resp.).

Naturalmente, un maestro de tan amplia y profunda actividad ha recibido distinciones numerosas. Cuento en su curriculum hasta casi una veintena de expresiones de este tipo, que van desde la pertenencia a esta Real Academia, como correspondiente hasta hoy, y a la Real de Doctores como colaborador, hasta la presidencia del Grupo de Química Agrícola de la R.S.E. de Química, pasando por encomiendas, medallas, diplomaturas y otras manifestaciones de excelencia que son el añadimiento fructual con que se suele adornar la madurez de los maestros y científicos que han puesto en su tarea esfuerzo, talento y el adeliño emotivo de la devoción. Que lo que nos acerca a Dios no es lo hecho, sino como lo hemos hecho.

Bienvenido, pues, a esta casa, querido D. Segundo. Sabes que aquí vas a seguir encontrando campo para tu bien aprendida tarea. Tras tu discurso y toda la obra que lo avala, estamos seguros que no nos vas a fallar.

Y por lo que al lado personal se refiere, sabed, compañeros académicos, que este profesor sesentón, de porte respetuoso y concentrado y atento, tímido, con una actitud que parece querer disculparse, él sabrá de qué, en cuya conversación hay puntas de ironía y brotes de humanismo y en su intelección una capacidad de dudar muy propia del hombre sensato que no se siente seguro de lo que no puede estarlo, este nuevo numerario, digo, espero que agrandará con su laboriosidad y conducta el ámbito de cortesía y amistad con que se trabaja en esta Casa.

Mi cordial felicitación a él y a los suyos; a su ejemplar esposa, Ana; a sus cuatro hijos Ana, Reyes, José Ramón y Fernando; y a sus discípulos. Algo de todos ellos entra hoy también en esta Real Academia de Farmacia.

He dicho.