

BIOMASA Y GENERACIÓN DE ENERGÍA: APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROPECUARIOS, INDUSTRIALES Y URBANOS

Avances tecnológicos, experiencias y políticas presentadas durante la I Jornada Internacional de Biomasa 2013, Villa María, Córdoba, Argentina



I JORNADA INTERNACIONAL
DE BIOMASA

Escritos EN BIOECONOMÍA

Dirección de
Vinculación Tecnológica

Subsecretaría de Vinculación
e Innovación Tecnológica

Secretaría de
CIENCIA y TECNOLOGÍA

Ministerio de INDUSTRIA,
COMERCIO, MINERÍA Y DESARROLLO
CIENTÍFICO TECNOLÓGICO



GOBIERNO DE LA
PROVINCIA DE
CORDOBA

Biomasa y generación de energía : aprovechamiento de residuos agropecuarios, industriales y urbanos : avances tecnológicos, experiencias y políticas presentadas durante la I Jornada Internacional de Biomasa 2013, Villa María, Córdoba, Argentina / Klaus Raffelt ... [et al.] ; compilado por Ezequiel Veneciano ; Romina Cabrera ; editado por Hugo Alberto Dellavedova ; Victoria Rosati. - 1a ed compendiada. - Córdoba : Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Desarrollo Científico Tecnológico . Secretaría de Ciencia y Tecnología, 2015.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-4020-03-1

1. Energía de la Biomasa. 2. Biomasa. 3. Residuos Sólidos Urbanos. I. Raffelt, Klaus II. Veneciano, Ezequiel, comp. III. Cabrera, Romina, comp. IV. Dellavedova, Hugo Alberto, ed. V. Rosati, Victoria , ed.
CDD 363.7285



BIOMASA Y GENERACIÓN DE ENERGÍA: APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROPECUARIOS, INDUSTRIALES Y URBANOS

Avances tecnológicos, experiencias y políticas presentadas durante la / Jornada Internacional de Biomasa 2013, Villa María, Córdoba, Argentina

EDITORES | Hugo A. Dellavedova | Victoria R. Rosati

COMPILADORES | Ezequiel Veneciano | Andrea Romina Cabrera

DISEÑO | Julieta Noriega

Traducción Inglés – Español | Ezequiel Veneciano

Traducción Italiano – Español | Hugo Dellavedova

AUTORES

- Klaus Raffelt
- Nicolaus Dahmen
- Herbert Lam
- Christoph Schwerdt
- Joerg Sauer
- Jorge Antonio Hilbert
- Gabriele Boccasile
- Jacques Méhu , Jeanne Bonnet, Pascale Naquin
- Daniel Vilaró Casalinas
- Ezequiel Omar Espinosa
- Walter Righini, Vanessa Gallo
- Diego Alberto Franco
- Juan Ignacio Paracca

PRESENTACIÓN | Pensando en el futuro energético de nuestra región

En el presente siglo, la humanidad deberá afrontar importantes desafíos, entre otros, el de alimentar a una población creciente, resolver la provisión de agua potable y generar energía para todas las actividades humanas. Simultáneamente, estos desafíos deberán resolverse en un marco de sustentabilidad, minimizando el impacto sobre el medio ambiente.

En los últimos 100 años, se ha consumido más del 50 % del petróleo existente inicialmente en el planeta generando en la actualidad un panorama energético global muy comprometido en lo que respecta a reservas, disponibilidad y precios de los combustibles tradicionales, es decir, los de origen fósil. Esto significa que las generaciones venideras se enfrentan al descenso de la disponibilidad de este recurso, que es el que sostiene el sistema económico y el modo de vida actual. Es también evidente que el uso masivo de dichos combustibles, durante el siglo XX principalmente, ha generado una variedad de problemas ambientales tales como la degradación de la capa de ozono, el calentamiento global y la contaminación de cuerpos acuíferos por derrames de crudo, tensiones económicas y hasta guerras por el control de los recursos fósiles, entre otros.

Por ello se hace necesario y urgente un planteamiento diferente de la economía con el objetivo de reconciliar a ésta con la ecología para lograr a nivel global un desarrollo sostenible. Surge aquí, como alternativa de futuro, la bioeconomía, una economía que no sólo tenga en cuenta las ganancias y la productividad, sino también los recursos naturales, esenciales para la vida. Una economía que promueva la producción sustentable de fuentes biológicas y su conversión en alimentos para uso humano, para alimentación animal, biocombustibles, bioenergías, y otros productos de base biológica.

Los productos de base biológica (bio-based products) pueden sustituir algunos productos derivados de los combustibles fósiles y revestir un rol importante para el desarrollo sostenible, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, de residuos, el consumo de agua y de combustibles convencionales.

Muchos países y regiones del mundo poseen ya una estrategia para la bioeconomía y por ello resulta importante poner en consideración las potencialidades y las oportunidades de desarrollo que se presentan para Córdoba en el futuro.

Un pilar fundamental de la estructura productiva de la provincia de Córdoba y de su economía es la producción agropecuaria y su agroindustria, que producen volúmenes significativos de subproductos y residuos biomásicos, como la cáscara del maní, residuos celulósicos del maíz, del trigo y el sorgo, suero proveniente de la industria láctea, aserrín de la industria forestal y maderera, purines de la producción porcina, y estiércol de los sistemas intensivos de producción animal, entre muchos otros. En algunos casos, si no se realiza una disposición final adecuada de estos residuos biomásicos, se pueden generar problemas ambientales en el territorio.

Del mismo modo, es reconocida la importancia de la búsqueda de alternativas para el tratamiento de aquellos residuos generados en los espacios urbanos (Residuos Sólidos Urbanos) debido al gran volumen de generación y los problemas ambientales y sanitarios que pueden surgir de su disposición y acumulación.

Estas tres situaciones, las sucesivas crisis que enfrenta y causa el uso de combustibles fósiles, la producción y acumulación de residuos de las actividades agropecuarias y forestales, y la disposición de los residuos sólidos urbanos confluyen en una cierta y prometedora posibilidad: la generación de energía térmica y/o eléctrica a partir de biomasa, tanto de origen agropecuario como urbano.

Consciente de ello, en el año 2012 el Gobierno de la Provincia desarrolló una Estrategia para el Sistema Regional de Innovación en el marco de la cual se generaron múltiples acciones, todas coincidentes con el objetivo de promover la bioeconomía, entendiendo como tal a todas aquellas actividades económicas orientadas a revalorizar, recuperar, reutilizar mediante procesos biotecnológicos los recursos que no son aprovechados y que en ciertas oportunidades generan contaminación o un impacto negativo sobre el medio ambiente. De esta manera, residuos como cáscara de maní, marlo de maíz, aserrín de la industria maderera, lactosuero, efluentes de la industria frigorífica, etc., no deberían constituir un problema para las empresas sino una oportunidad de cargar un valor agregado y generar energía o biocompuestos. Pero, para poder valorizarlos a través de una

segunda industrialización, recuperarlos o reutilizarlos es necesario saber qué cantidad se produce, cuándo, dónde y qué características tienen. Y, de resultar aprovechables, cuál es la tecnología más adecuada y qué impacto genera en el entorno.

Así, en oportunidad del CLEAN TECH, un seminario sobre Tecnologías Limpias organizado en Córdoba con la participación de representantes de las regiones que conforman 4 Motores para Europa y 4 Motores para el Mercosur, de los cuales la provincia forma parte, definimos y planteamos a nuestros consocios europeos y latinoamericanos la necesidad de realizar un mapeo de toda la biomasa y de los RSU del territorio como etapa previa para plantear su valorización. Esto llevó a la realización de dos importantes proyectos: la caracterización de los RSU de las ciudades de Córdoba y Villa María y un Estudio de Ecología Territorial del Departamento General San Martín, ejecutados por profesionales de la Secretaría, conjuntamente con investigadores de la Facultad Regional Villa María de la Universidad Tecnológica Nacional y de la Universidad Nacional de Villa María, asistidos por expertos europeos. La intención de estos dos proyectos fue la de generar experiencia y recursos capacitados para luego replicar estos estudios en la totalidad del territorio provincial.

Simultáneamente, y dada la importancia que han cobrado las nuevas tecnologías tendientes al aprovechamiento fuentes alternativas de energía, limpias y no contaminantes, provenientes de recursos renovables, el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba realizó la 1° Jornada Internacional de Biomasa con el objetivo de establecer un lugar de exposición, difusión y discusión de las tecnologías y sistemas disponibles o en desarrollo, tanto en el país como en el exterior, para el aprovechamiento energético de la biomasa.

En contacto con la experiencia de disertantes especializados del medio local e internacional, se logró generar un ámbito propicio para avanzar en el estudio, desarrollo, producción y difusión del uso de tecnologías propias, de bajo costo, adecuadas a nuestras necesidades, que resuelvan cuestiones ambientales, a la par de la generación de energías renovables que puedan ir modificando nuestra actual matriz energética, basada principalmente en combustibles fósiles.

Este libro reúne algunas de las presentaciones realizadas en el marco de este evento y tiene como finalidad poner a disposición de la

sociedad en su conjunto esta información que consideramos de gran interés para investigadores, estudiantes, productores agropecuarios, empresas agroalimentarias, funcionarios municipales y provinciales vinculados a la problemática ambiental, de la generación de energía y al aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos, agropecuarios e industriales.

El libro ha sido estructurado agrupando las presentaciones en 3 grandes capítulos. En el primero, denominado *Generación de energía a partir de residuos agropecuarios*, se presentan avances tecnológicos en la producción de bioenergía y biocombustibles líquidos a partir de residuos agrícolas. En el segundo capítulo, *Generación de energía a partir de residuos sólidos industriales y urbanos*, se aborda la caracterización de RSU, los proyectos de Ecología Territorial como herramienta para la toma de decisiones, un análisis del modelo catalán de gestión de residuos y una presentación sobre el proceso integrado para la conversión de RSU en materias primas de alto valor agregado. En el tercer capítulo de este libro, denominado Gestión de recursos y generación distribuida, se analizan iniciativas públicas (PROBIOMASA) y privadas (FIPER) para promover la energía derivada de la biomasa, y se avanza en cuestiones referidas a políticas públicas y al marco normativo y regulatorio para la generación de energía para autoconsumo.

Agradecemos muy especialmente a los autores de los trabajos presentados en este libro por su colaboración y predisposición para su difusión pública.

Esperamos que este material sea un pequeño aporte para promover la utilización de recursos biológicos presentes en el territorio, actualmente desaprovechados, y a la generación de biocombustibles, bioenergía y bioproductos de alto valor agregado que contribuyan a mejorar la sostenibilidad de nuestros actuales sistemas de producción agroalimentaria y, en definitiva, la calidad de vida de todos los habitantes.

Prof. Ing. Hugo Alberto Dellavedova
Subsecretario de Innovación y Vinculación Tecnológica
Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Desarrollo Científico
Tecnológico
Gobierno de la Provincia de Córdoba.

ÍNDICE |

Presentación	3	urbani - Progressi tecnologici nei processi di digestione anaerobica	
<i>Generación de energía a partir de residuos agropecuarios</i>		<i>Generación de energía a partir de residuos sólidos industriales y urbanos</i>	
bioliq®: Combustibles líquidos de residuos agrícolas	8	Energía desde residuos: Caracterización de RSU y herramienta para la toma de decisiones “Ecología territorial”.	75
bioliq®: Liquid fuels from agricultural residues	21		
Alternativas de producción de bioenergía a partir de recursos biomásicos agropecuarios	34	Energy from waste: Characterization of MSW and Territorial Ecology decision making tool	89
Avances tecnológicos para aprovechamiento energético por medio de digestión anaeróbica (residuos agropecuarios y urbanos)	48	El modelo catalán de gestión de residuos. Impulso a las tecnologías de digestión anaeróbica de la fracción orgánica recogida .	102
Sfruttamento energetico dei residui organici agricoli ed	60		

Proceso integrado para La
conversión de RSU em
matérias primas de alto valor
agregado - El concepto de
Basura Cero

115

***Gestión de recursos y
generación distribuida***

Proyecto para la promoción
de la energía derivada de la
biomasa (PROBIOMASA)

123

Generación de energía a
través el uso de biomasa en
el sector privado:
presentación de casos
estudios. La experiencia
FIPER.

143

Generación distribuida para
autoconsumo con energías
alternativas

146

GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS AGROPECUARIOS

- *bioliq[®]: Combustibles líquidos de residuos agrícolas*
 - ***bioliq[®]: Liquid fuels from agricultural residues***
-
- *Análisis sistémico de las alternativas de producción de bioenergía a partir de recursos biomásicos agropecuarios*
-
- *Avances tecnológicos para aprovechamiento energético por medio de digestión anaeróbica (residuos agropecuarios y urbanos)*
-
- *Sfruttamento energetico dei residui organici agricoli ed urbani - Progressi tecnologici nei processi di digestione anaerobica*

BIOLIQ[®]: COMBUSTIBLES LÍQUIDOS DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

Klaus Raffelt, Nicolaus Dahmen, Herbert Lam, Christoph Schwerdt, Joerg Sauer

Instituto Tecnológico de Karlsruhe, Instituto de Investigación y Tecnología en Catálisis,

Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Germany

*Autor para correspondencia, e-mail: klaus.raffelt@kit.edu,

tel. +49(0)721/60826507, fax +49(0)721/60822244

Resumen

En los últimos años, el Instituto Tecnológico de Karlsruhe (KIT) (Alemania), desarrolló el proceso *bioliq* para la utilización de biomasa lignocelulósica como la paja de trigo, uno de los residuos agrícolas más abundantes en Europa. En general, una gran cantidad de tipos de biomasa puede ser usada en el proceso *bioliq*, como los residuos de la producción de azúcar y maíz, que tienen un gran potencial de materia prima para la producción de energía en América. El primer paso de *bioliq* consiste en una pirólisis rápida y la preparación de una suspensión de los productos de

pirólisis. Este paso ha sido probado por una unidad de desarrollo de proceso (PDU) de 10 kg/h, utilizando entre otros, bagazo de caña de azúcar, marlo y rastrojo de maíz. El concepto multi-etapa *bioliq* fue escalado en una planta piloto de 500 kg/h (pirólisis rápida), 1000 kg/h (gasificación) y 200 kg/h (síntesis de combustible), el cual se encuentra actualmente en la etapa de puesta en marcha.

Palabras clave

Lignocelulosa, residuos agrícolas, pirólisis, gasificación, dimetil-éter, gasolina.

Consideraciones preliminares en cuanto al potencial

El uso de biomasa es un importante elemento con vistas a la producción de energía en el futuro. En un estudio anterior, se estimó que la biomasa podrá aportar alrededor del 20% de la energía primaria en el próximo siglo [HEN02]. La biomasa es particular entre las energías renovables porque es la única fuente renovable de carbono, mientras que la energía del viento, el mar, fuentes geotérmicas, y el sol sólo pueden proveer calor y electricidad.

Los líquidos de base carbonada probablemente continúen siendo los combustibles más importantes en el sector del transporte durante este siglo. Por lo tanto, el desarrollo de la conversión de biomasa en líquidos cobra sentido, incluso si la combustión o co-combustión es más barata a corto plazo. En cuanto al potencial alemán de biomasa para energía, la madera residual de la actividad forestal y de desecho de la industria conforma el 41% de todo el residuo orgánico en base libre de cenizas y agua [LEI04], 19% proviene de lodos de aguas servidas y estiércol líquido (también en base libre de cenizas y agua), 21% de los residuos orgánicos son sustancias lignocelulósicas de pared delgada como la paja y el heno. Generalmente, el contenido de cenizas de la biomasa de rápido crecimiento es mayor en comparación con el de la madera, de allí que la tecnología de conversión deberá adaptarse a un alto contenido de constituyentes inorgánicos, incluyendo álcalis y cloro. La gasificación por flujo de arrastre es una tecnología que se puede adaptar a esta situación porque es necesario un alto contenido de cenizas: la escoria fundida en el reactor se

deposita en la pantalla interior de refrigeración. La fina capa de escoria cercana a la pantalla de refrigeración se transforma en un sólido similar al vidrio que protege al reactor de la corrosión, mientras que la mayor parte de la escoria se mantiene en estado líquido y fluye hacia abajo para la descarga. La escoria contiene nutrientes inorgánicos y compuestos minerales y teóricamente podría ser reciclada y redirigida al campo, pero es necesario un posterior tratamiento ya que la escoria vidriosa es bastante inerte químicamente con respecto a la lixiviación [DRI04]. El proceso *bioliq*, si bien está pensado originalmente para una alimentación con paja de trigo, no se encuentra restringido a la misma, ya que está diseñado para una biomasa sucia y rica en cenizas y por lo tanto pueden utilizarse bagazo y residuos del maíz. Esto se explica en detalle más adelante, ya que dichos residuos agrícolas son típicos de América.

La idea principal del proceso *bioliq* fue separar un pre-tratamiento regional de la biomasa del paso principal de conversión en combustible y compuestos químicos, para de esta manera mejorar la economía de escala y disminuir los costos de transporte. La Tabla 1 muestra la relativamente baja densidad de la biomasa, generando un transporte ineficiente desde el punto de vista económico.

Tabla 1: Datos físico-químicos seleccionados para algunos residuos agrícolas.

Residuo Biomásico	Humedad	Cenizas (base seca)	PCS	Densidad granel	Densidad absoluta
Bagazo de caña de azúcar	7,5%	4,1%	17.5 8 MJ/k	50-75 kg/m ³ [JOR97]	s.d.*
Rastrojo de Maíz	9.1%	3,9%	15.8 8 MJ/k	190 kg/m ³	220 kg/m ³
Marlo de Maíz	7.6%	1,5%	17.2 9 MJ/k	290 kg/m ³	390 kg/m ³

*sin determinación

El pre-tratamiento de la biomasa en el caso del proceso *bioliq* consiste en una molienda del residuo agrícola seco, una pirólisis flash de la biomasa (calentamiento rápido y tiempos cortos de reacción de sólo algunos pocos segundos mientras que el aire es excluido) y mezclado de los productos líquidos y sólidos de la pirólisis para dar un *bio-slurry* (biolodo) denso denominado *biosyncrude*. Este *biosyncrude* puede ser transportado una gran distancia, de más de 250 km. Leible et al. calcularon que el consumo energético para el

transporte del *slurry* es insignificante (<1%) y que los costos son bajos (14 €/ton de *biosyncrude* en tren) [LEI03].

Brasil es, por mucho, el mayor productor de caña de azúcar en el mundo (721 millones de toneladas en 2012, es decir el 39% de la producción mundial) [FAO2014]. En la mayoría de los molinos se produce tanto azúcar para alimentación como bioetanol. El bagazo es el residuo principal de la caña de azúcar luego de la molienda de los tallos para obtener el licor dulce. Puede ser utilizado como combustible sólido para la producción de vapor de proceso en los ingenios azucareros o para generar electricidad (autoconsumo y suministro a la red) [RAU09]. Durante la temporada 2010/2011, 175 millones de toneladas de bagazo estuvieron disponibles en Brasil (50% de humedad). 145 millones de toneladas fueron quemadas para producción de vapor y aproximadamente 14 millones de toneladas fueron utilizadas para generación de electricidad [EPE11]. Además de los azúcares disacáridos en el licor y las fibras (bagazo), un tercer tipo de producto podría ser, en teoría, utilizado energéticamente: el denominado *residuo agrícola de cosecha de caña* (RAC de caña) que consta de las hojas y las partes superiores de las plantas. Hasta ahora, este residuo no es recolectado porque no es atractivo económicamente debido al precio de recolección y transporte; por lo tanto no existe infraestructura y los agricultores no están preparados para recolectar estos residuos. El RAC representa hasta el 33% del contenido energético de la caña de azúcar [ALO08] y es una potencial materia prima para uso energético en el futuro. Más

aún, la eficiencia energética y el valor agregado del uso del bagazo podrían incrementarse.

Tecnologías tales como la gasificación, digestión anaeróbica, pirólisis y combustión pueden ser combinadas con la producción de potencia en ciclo combinado (CHP, *combined heat power*), la cual tiene una mayor eficiencia en comparación con las tecnologías tradicionales de generación de energía [BOC09]. En Argentina, los residuos del maíz podrían ser una opción para incrementar la participación de la biomasa en el sector energético. El rastrojo de maíz es un residuo agrícola de bajo costo que está disponible en grandes cantidades. 21,2 millones de toneladas de maíz fueron cosechadas en 2012 con 27,6 millones de toneladas de rastrojo de maíz como un subproducto [FAO14]. La tasa de remoción del rastrojo de maíz en el campo ronda el 62% [ZHA13], pero puede variar significativamente. Muchas condiciones afectan esta tasa, como por ejemplo la rotación de cultivos, la necesidad de biomasa para el mantenimiento de los suelos, remoción de nutrientes y demanda adicional de fertilizante, erosión, costos de cosecha, etc. [HAR08]. Otro material de desecho importante de la planta de maíz es el marlo, que representa aproximadamente el 30% de los residuos de maíz [RAN83].

Una ventaja comparativa del marlo frente al rastrojo, es que el primero debe ser cosechado en cualquier caso y no puede ser dejado en el campo. Estos tres ejemplos de residuos de biomasa son todos comparables con la paja de trigo con respecto a su composición química, ya que todos son materiales lignocelulósicos con un bajo contenido de proteínas

y ácidos grasos, y contenidos similares de compuestos inorgánicos.

Tabla 2: Composición química de residuos de biomasa secos, % en peso (ver contenido de cenizas en Tabla 1) [GAR99].

Residuo		Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Paja de trigo	de	32,9 – 50	24 – 35,5	8,9 – 17,3
Bagazo de caña	de	40 – 41,3	27 – 37,5	10 – 20
Tallos de maíz	de	35 – 39,6	16,8 – 35	7 – 18,4
Elote de maíz	de	33,7 – 41,2	31,9 - 36	6,1 – 15,9

Pirólisis Flash

El material de alimentación debe ser secado con aire (15% de humedad o menos) y triturado en partículas de 10 mm de longitud o menos. En una atmósfera de gas inerte a presión ambiente, estas partículas de biomasa son calentadas rápidamente a 500°C en el reactor a través de un medio de transferencia de calor (arena), con un tiempo de residencia de la fase gaseosa de un segundo. Estas condiciones de

reacción son elegidas para maximizar el rendimiento de productos líquidos. Típicamente, la biomasa es convertida en 53 – 78% de líquido condensado (alquitrán o el llamado *bio-oil*), 12 – 34% de coque (con alto contenido de carbono), y 8 – 20% de gas (principalmente CO₂, CO, CH₄, H₂, y trazas de C₂H_x). Los principales factores que influyen el rendimiento de producción de sólidos, líquidos y gas son cuatro: (1) la temperatura, (2) el tiempo de residencia del vapor en la zona caliente, (3) el contenido de cenizas y (4) la composición de la lignocelulosa (relación entre celulosa, hemicelulosa y lignina)

1. La temperatura óptima para obtener un alto rendimiento reproducible de líquidos de pirólisis se encontró en el rango de 475 a 525 °C. Además, se observó que los rendimientos de alquitrán y las características del mismo varían significativamente en un rango pequeño bajo estas condiciones. A temperaturas más bajas, la tasa de la reacción decrece significativamente y la carbonización (*charring*) es predominante. A temperaturas más elevadas, el rendimiento de gas se incrementa [HOR96]. Es importante considerar que las ecuaciones químicas dadas en las Figs. 1 y 2 son sólo empíricas, pero sin embargo presentan una buena estimación para lignocelulosa típica del tipo “paja” y los rendimientos de la pirólisis lenta (elevados tiempos de residencia) pueden ser descritos por el cracking secundario del alquitrán “C₃H₅O₂” en coque CH₂, agua “H₂O” y alquitrán residual “CH₂O”.
2. En la “zona caliente” del reactor, el bio-oil está presente como vapores mientras que la condensación toma lugar aguas abajo. Las reacciones secundarias de craqueo disminuyen el rendimiento en aceite y lo incrementan en gas y coque.
3. Las cenizas promueven el cracking secundario del alquitrán. Por lo tanto, los rendimientos más altos en bio-oils se encuentran en madera, por ejemplo aserrín de haya sin corteza con contenido de cenizas por debajo del 1% en peso.
4. Es conocido que más lignina conduce a un contenido mayor de carbón y uno menor de bio-oil. Además, la composición del aceite cambia: en bio-oils derivados de la lignina se encuentra mucha lignina pirolítica (oligómeros de derivados de fenol y ramificaciones glicéricas) y monómeros como el guayacol. Los productos principales de la pirólisis de la celulosa y la hemicelulosa son moléculas polares y de cadena corta (alcoholes, ácidos orgánicos, cetonas, aldehídos, ésteres). La hemicelulosa conduce además a especies derivadas del furfural y la celulosa a sacáridos como el *levoglucosan*.

Tabla 3: Principales componentes de bio-oils de pirólisis rápida de madera y sus rangos típicos de concentración [BRA06].

Compuesto	%	Compuesto	%
Formaldehído	0.8-2.6	2-hidroxi-1-metil-1-ciclopenten-3-ona	0.3-0.5
Acetaldehído	0.6-1.0	2-metil-2-ciclopentenona	0.1-0.5
Ácido Glicólico	0.3-1.1	2-furaldehído	0.3-0.5
Glyoxal	0.8-1.5	Ácido N-butírico	0.9-1.4
Metanol	0.1-1.0	Siringaldehído	0.0-1.2
(5H)-furan-2-ona	0.5-0.6	guayacol	0.2-0.5
Agua	16-30	4-metilguayacol	0.2-1.2
Hidroxialdehído	2.5-6.7	Eugenol	0.2-1.8
5-hidroximetilfurfural	0.2-0.8	Syringol	0.1-0.6
Ácido acético	2.3-4.7	Vanilina	0.1-0.8
Butanol	0.8-3.2	Isoeugenol (cis+trans)	0.5-2.8
Ácido propiónico	0.3-0.7	Levoglucosan	3.0-4.5
Hidroxipropanona	1.1-3.9	Cellobiosan	0.0-2.3

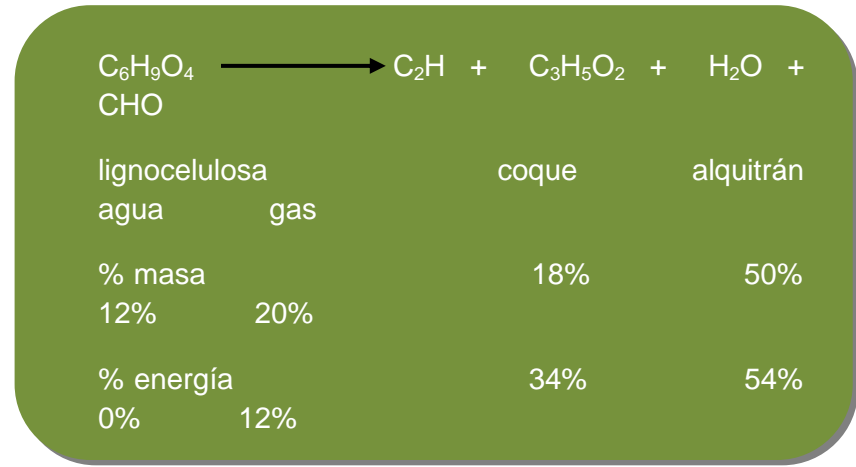


Fig. 1: Ecuación de reacción simplificada para la pirólisis rápida de biomasa lignocelulósica seca. Las fórmulas elementales son empíricas, simbolizando en cada caso una fase con una composición elemental cercana a la dada [HEN05].

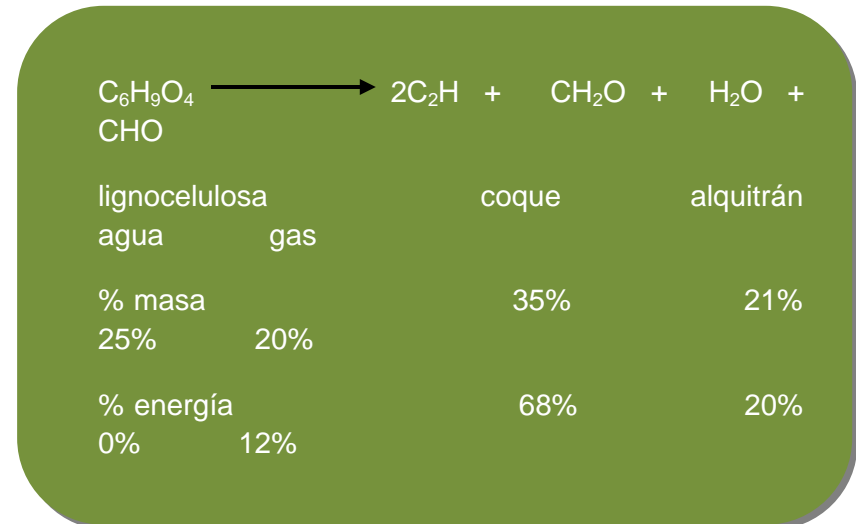


Fig. 2: Ecuación de reacción simplificada para la pirólisis lenta de biomasa lignocelulósica seca. Las fórmulas elementales son empíricas, simbolizando en cada caso una fase con una composición elemental cercana a la dada [HEN05].

Tres tipos de residuos de biomasa: bagazo de caña, rastrojo de maíz y marlos de maíz, fueron pirolizados en la unidad de desarrollo de proceso (PDU) *bioliq* en el KIT con una alimentación máxima de 10 kg/h de material triturado. La biomasa, como alimentación, y la arena, como medio calefactor, son fluidizados mecánicamente en un reactor de doble hélice desarrollado originalmente por LURGI AG a mediados del Siglo XX para el tratamiento de carbón y residuos de refinería [LEE07]. El tipo de reactor se eligió debido a que el mismo ha sido utilizado ya por muchas décadas [WEI00] [WEI89] y esta experiencia podría adaptarse a un proceso de conversión de biomasa. La Fig. 3 muestra el reactor esquemáticamente. Las hélices del reactor en la PDU de Karlsruhe tienen una longitud de 1,5 m y diámetros interiores y exteriores de 20 y 40 mm, respectivamente, se encuentran engranados y son autolimpiantes. Arena caliente a 500 °C se mezcla con la paja en un exceso de aproximadamente 10:1 presentando una excelente transferencia de calor. Mientras la paja es pirolizada, la fase vapor (vapor de alquitrán y compuestos gaseosos permanentes) es retirada por succión de baja presión junto con el coque en bruto premolido por abrasión con las hélices del reactor y las partículas del medio calefactor. A continuación del reactor, las finas partículas de coque son separadas de la fase gaseosa en dos ciclones. Luego, los

vapores son refrigerados en dos condensadores donde se recolecta el alquitrán orgánico (con aprox. 10 % de agua) así como una solución acuosa de moléculas solubles en agua (aprox. 70% de agua). El gas remanente tiene un bajo valor calorífico y contiene 45-65% CO₂, 27-45% CO, 5-9% de hidrocarburos y < 0,3 % H₂. En una planta comercial, este gas no condensable sería quemado para mejorar el balance energético. Dado que la inflamabilidad de este gas es baja, primero se debe precalentar usando calor residual de baja temperatura del proceso. En el extremo de las hélices gemelas, la arena calefactora es transportada hacia arriba con un elevador de cestas, para mezclarse nuevamente con alimentación fresca, previo paso por un intercambiador de calor. Una pequeña fracción de coque crudo puede ser aceptada en la arena retroalimentada, ya que sufrirá una mayor molienda en los pasos consecutivos a través las hélices. No se ha observado acumulación de coque en el seno del medio calefactor.

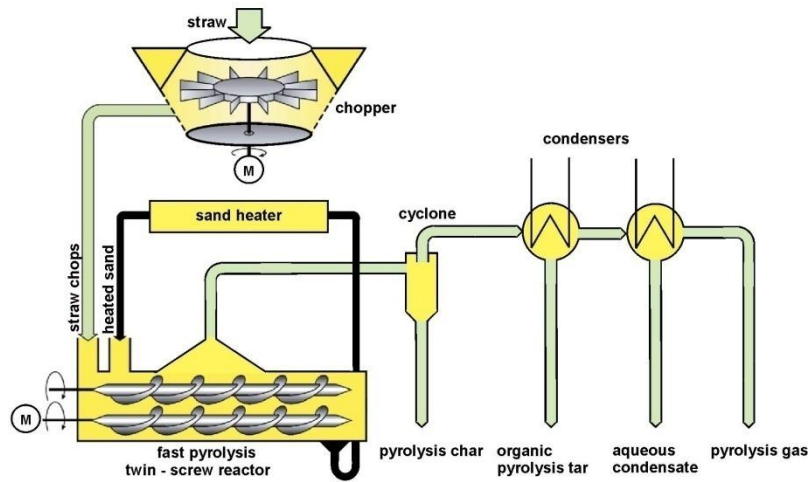


Fig. 3: Representación esquemática de la unidad de demostración del proceso de pirólisis flash en el KIT.

Tabla 4: Rendimiento de productos en % en masa para pirólisis flash de biomasa en reactor de hélices gemelas a 500 °C y presión atmosférica. La relación de mezclado arena/biomasa es aproximadamente 10:1. El rendimiento de gas se calcula como la diferencia de masa entre la alimentación y los productos líquidos y sólidos. Los resultados se expresan como promedios de 3 – 4 experimentos, con 15 – 25 kg de alimentación en cada uno.

	condensado	orgánicos	agua	coque	cenizas	gas
bagazo de caña	63.0	45.6	17.4	17.2	4.1	19.8
rastrojo de maíz	50.4	29.6	20.8	22.5	5.4	27.1
elote de maíz	78.1	31.2	22.5	12.1	1.7	9.8

Tabla 5: Energía de los productos de pirólisis en porcentaje relativo al material de alimentación. Condiciones de reacción iguales a las dadas en la Tabla 4.

	condensado	coque	biosyncrude	Diferencia con la alimentación
bagazo de caña	55.9	20.5	76.4	23.6
rastrojo de maíz	57.6	33.1	90.7	9.3
elote de maíz	52.8	19.5	72.3	27.7

Preparación del *Slurry*

El coque seco es altamente reactivo y su manipulación es peligrosa en cuanto a la posibilidad de autoignición y explosión del polvo. Para transporte y almacenamiento, el coque y el alquitrán se mezclan para formar una suspensión altamente viscosa (*biosyncrude*), la cual presenta una densidad y contenido energético mucho más elevados que la biomasa original. Una mezcla de aproximadamente 20 % de coque de paja y 80% de líquido de pirólisis se presenta en primera instancia como un material grueso, grumoso, húmedo y voluminoso. A concentraciones sorpresivamente bajas de sólido, se pierde la fluidez. Debido a su alta porosidad y capacidad humectante, el coque absorbe el líquido de pirólisis como una esponja. Este material grumoso tiene propiedades de seguridad favorables y es apto para almacenamiento a largo plazo, pero no puede ser bombeado a través de las cañerías del gasificador ni ser atomizado, lo cual es necesario para la conversión completa con bajos tiempos de reacción. El material se vuelve entonces líquido utilizando un *mixer* coloidal debido a una des-aglomeración [RAF05, RAF06]. Se forma un *slurry* altamente viscoso, apto para bombeo ($\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$). La reducción del tamaño de partícula por molienda adicional, tiene un gran efecto, ya que no sólo los aglomerados, sino también las partículas individuales tienen una elevada porosidad. Especialmente los macroporos son destruidos en la molienda, debido a que actúan como puntos de quiebre. En la Tabla 5 se muestra que una mezcla de condensado de pirólisis y coque contiene hasta el 90 % de la energía de la biomasa (residuos de maíz y bagazo).

La Planta Piloto

La planta piloto de pirólisis rápida en el KIT se encuentra operativa desde 2010 en campañas de pruebas de típicamente una semana usando paja de trigo como material de alimentación. En el futuro, otros tipos de biomasa serán también procesados, pero para ello se necesitan alteraciones, por ejemplo en el sistema de alimentación. Un diagrama de flujo simplificado se muestra en la Fig. 4. La principal diferencia en comparación con la PDU es la cañería de elevación para calentar la arena por combustión de gas natural (en el futuro gas de pirólisis) y elevarla por medio del flujo de gas caliente. La planta piloto tiene una entrada de 500 kg/h de biomasa. Los productos líquidos son divididos en una fase de alquitrán (condensación a 85 – 100 °C) y una fase acuosa (condensación a 20 – 40 °C). Luego de refrigerar, el coque y los condensados son mezclados para obtener *biosyncrude* y almacenados para gasificación en la siguiente etapa de la planta piloto.

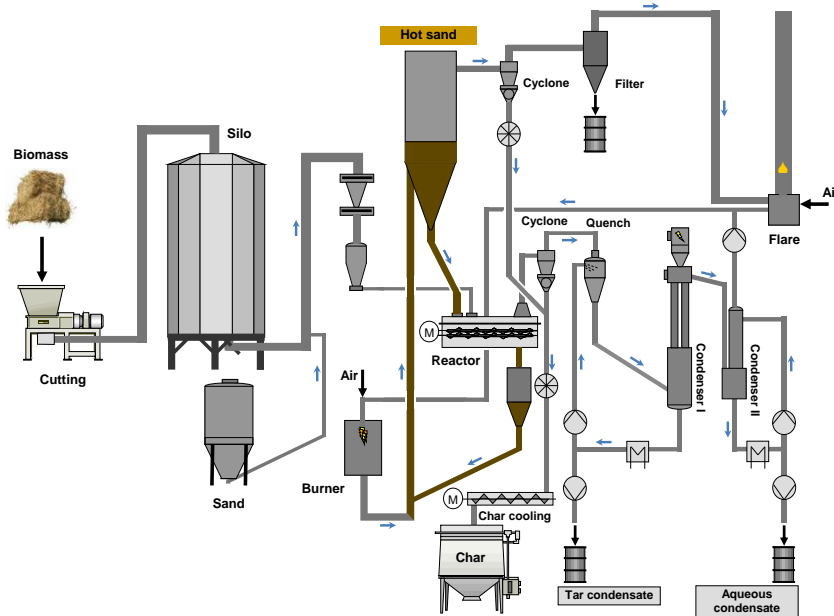


Fig. 4: Representación esquemática de la planta piloto para pirólisis flash en el KIT.

Gasificación con Flujo de Arrastre

La gasificación del *biosyncrude* y la síntesis de combustibles en el KIT son descritas en [DAH12], [DAH10] y sólo son presentadas brevemente en esta publicación. La gasificación con flujo de arrastre fue elegida debido a que es muy apta para materiales ricos en cenizas produciendo un gas de síntesis prácticamente libre de alquitrán y metano.

La gasificación con oxígeno técnico a presiones hasta de 80 bar llevan a un menor volumen de gas en la sección de

purificación del mismo. La alimentación óptima es de 1000 kg/h de *biosyncrude* (equivalente a una capacidad térmica de combustible de 5 MW). La temperatura de gasificación es mayor a 1200°C, la cual está por encima del punto de fusión de la ceniza de la biomasa, debido a que la escoriación es un aspecto importante del diseño del proceso. El *syngas* crudo es apagado con agua presurizada, y pasa por una serie de equipos para la limpieza del gas caliente a temperaturas superiores a los 500°C: un filtro de partículas, con elementos filtrantes de cerámica, para la remoción de trazas de coque, hollín y álcalis; una absorción de lecho fijo con minerales para la retención de HCL, H₂S, COS y álcalis, y un lecho catalítico para la descomposición de NH₃, HCN y trazas de compuestos orgánicos. La Fig. 5 muestra un diagrama de flujo de la sección de síntesis en la planta piloto *bioliq*. El CO₂ es absorbido en un solvente líquido que luego es recuperado por desorción. La síntesis de DME es llevada a cabo en un reactor de un paso por medio de una mezcla de catalizadores para la formación de metanol y deshidratación. Esta reacción es enlazada a otro reactor, de desplazamiento agua-gas (reacción *shift*), para el ajuste fino de la relación CO/H₂ ya que las concentraciones de CO y H₂ pueden no ser las óptimas para la síntesis de DME. La gasolina es producida en otro reactor a partir de DME por un catalizador de zeolita ZSM-5, separada del agua y el DME no convertido, y luego acondicionada en una columna de rectificación donde se separan cantidades menores de fracciones pesadas y ligeras. La planta completa es un complejo sistema de reactores combinados con recirculación de gas e intercambio de calor con el objetivo de maximizar el rendimiento en gasolina (ajustando la relación CO/H₂ y la recirculación del DME no reaccionado) y recuperar calor, teniendo cada uno de los reactores su temperatura óptima de trabajo (5 a 430 °C). La presión es reducida a lo largo del proceso desde

aproximadamente 80 bar (gasificación), pasando por 60 bar (producción de DME), y llegando a 20 bar (producción de gasolina).

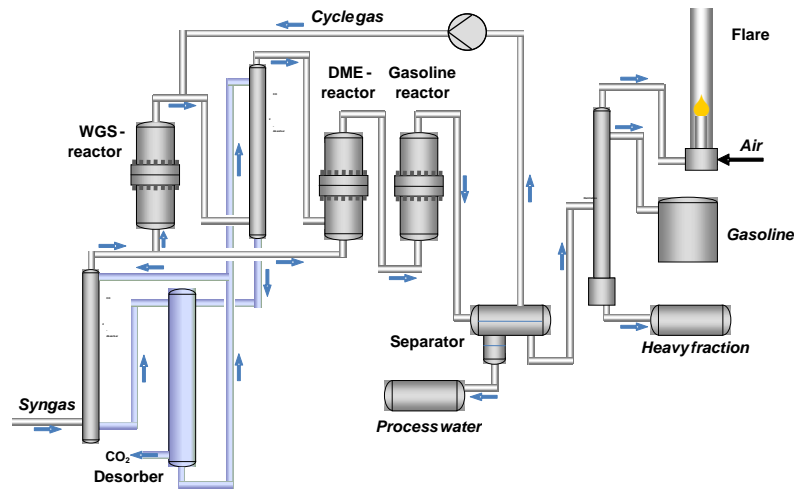


Fig. 5: Síntesis de gasolina a partir de *syngas* limpio vía DME, realizada en la planta piloto *bioliq*, en Karlsruhe, Alemania.

Las plantas piloto para gasificación, limpieza de gas, y síntesis fueron completadas en su estructura durante 2012 y la operación fue evaluada a través de pruebas funcionales y de performance. En 2014 se realizará la primera acción encadenada de todos los pasos del proceso, desde la pirólisis de paja de trigo, producción y almacenamiento de *biosyncrude*, pasando por la gasificación y limpieza del gas para la producción de gasolina. El establecimiento, operación y posterior desarrollo de las plantas piloto son llevadas

adelante en cooperación con socios del sector industrial. Air Liquide Engineering & Construction Germany, Frankfurt, es el socio para la pirólisis rápida y gasificación; MAT Mischanlagentechnik GmbH, Immenstadt, para la preparación y almacenamiento de *biosyncrude*, MUT Advanced Heating GmbH, Jena, para la purificación del gas, y Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH para la síntesis.



Fig. 6: La planta piloto *bioliq* en el KIT, Karlsruhe, Alemania. Desde la izquierda, preparación de la biomasa (trituration y molienda), pirólisis rápida, almacenamiento de *biosyncrude*, gasificación con flujo de arrastre, purificación del gas, síntesis de DME y gasolina.

Conclusión

A modo de ejemplo, se ha mostrado que el bagazo de caña de azúcar, el rastrojo de maíz, y el marlo de maíz, son convertidos en *biosyncrude* a partir de los productos de pirólisis, con un contenido energético del 80, 73 y 90% en comparación al de los residuos de biomasa originales. El *biosyncrude* tiene una densidad energética lo suficientemente alta para permitir un transporte económico y que es apta para gasificación a gas de síntesis y síntesis de gasolina aguas abajo. En 2012 se completó la planta piloto *bioliq*, y actualmente se encuentra en fase de puesta en marcha para ser evaluada en la escala de 200 kg/h (síntesis) – 1000 kg/h (gasificación) con paja de trigo como material de alimentación, la cual es bastante comparable a los mencionados aquí. La idea principal es que una vez que el *syngas* limpio es producido, hay varias alternativas para su utilización. A través de procesos ya existentes, puede ser convertido en cualquier tipo de combustible utilizado hoy (diesel, kerosene, gasolina), pero también en químicos vía síntesis de Fischer-Tropsch o vía metanol como intermediario, así como a hidrógeno y metano. De esta manera, el proceso *bioliq* presenta rutas alternativas a las establecidas de base fósil, con el objetivo de producir importantes productos químicos y fuentes de energía.

Referencias bibliográficas

- [ALO08] Alonso-Pippo W, Luengo CA, Koehlinger J, Garzone P, Cornacchia G. 2008. Energy Policy, vol. 36, pp. 2163–2181.
- [ALO11] Alonso-Pippo W, Luengo CA, Alonsoamador Morales Alberteris L, Garzone P, Cornacchia G. 2011. Waste biomass valor, vol. 2, pp.1-16.
- [BOC09] Bocci E, Di Carlo A, Marcelo D. 2009. Power plant perspectives for sugar cane mills. Energy, vol. 34, pp. 689-698.
- [BRA06] Branca C, Di Blasi C. 2006. Ind. Eng. Chem. Res., vol. 45, pp. 5891-5899.
- [DAH10] Dahmen N, Henrich E, Kruse A, Raffelt K. 2010. Biomass liquefaction and gasification, capítulo 5 en: Vertes AA, Qureshi N, Blaschek HP, Yukawa H, Biomass to Biofuels: Strategies for Global Industries. Wiley-VCH, pp. 91-122.
- [DAH12] Dahmen N, Dinjus E, Kolb T, Arnold U, Leibold H, Stahl R. 2012. State of the art of the bioliq® process for synthetic biofuels production. Environmental Progress & Sustainable Energy, special issue: tcbiomass2011, The International Conference on Thermochemical Conversion Science, vol 31, issue 2, pp. 176–181.
- [DRI04] van der Drift A, Boerrigter H, Coda B, Cieplik MK, Hemmes K. 2004. Entrained Flow Gasification of Biomass - Ash behaviour, feeding issues, and system analyses, ECN report 04-039.
- [EPE11] Empresa de Pesquisa Energetica. Balanco Energetico Nacional 2011-ano base 2010 and 2008, data available at <http://ben.epe.gov.br>.
- [FAO14] Homepage of the Food and Agriculture Organisation of the United Nations. 2014.
- [GAR99] Garotte G, Dominguez H, Parajo JC. 1999. Hydrothermal processing of lignocellulosic materials.

- European Journal of Wood and Wood Products, vol. 57, pp. 191-202.
- [HAR08] Harvesting Stover - Fact Sheet of the Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, January 2008.
- [HEN02] Henrich E, Raffelt K, Stahl R, Weirich F. 2002. Pyrolysis 2002 Conf. in Leoben, Austria, pp. 17-20, September 2002.
- [HEN05] Henrich E. 2005. Presentation at SYNBIOS conference, 18-20 May 2005, Stockholm, Sweden.
- [HOR96] Horne PA, Williams PT. 1996. Fuel, vol. 75, p. 1051.
- [JOR97] Jorapur R, Rajvanshi AK. 1997. Biomass Bioenergy, vol. 13, pp. 141-146.
- [LEI03] Leible L, Arlt A, Fuerniss B, Kaelber S, Kappler G, Lange S, Nieke E, Roesch C, Wintzer D. 2003. Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6882, Forschungszentrum Karlsruhe, p 92.
- [LEI04] Leible L, Kaelber S, Kappler G, Lange S, Nieke E, Wintzer D, Fuerniß B. 2004. 2nd World Conf. on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection in Rome, pp. 2113-2116.
- [LEE07] Lee S, Speight JG, Loyalka SK. Handbook of Alternative Fuel Technologies, CRC Press, p. 276, ISBN 978-0-8247-4069-6, 2007.
- [RAF05] Raffelt K, Henrich E, Steinhardt J, Dinjus E. 14th European Biomass Conference, Paris, 17-21 Oct. 2005.
- [RAF06] Raffelt K, Henrich E, Steinhardt J, Dinjus E. 2006. Preparation and characterization of biomass slurries: a new feed for entrained flow gasification. In: Bridgwater AV, Boocock DGB (ed.) Science in thermal and chemical biomass conversion, vol 2. CPL Press, Newbury, pp 1547-1558.
- [RAN83] Rangkuti M, Djajanegara A. 1983. The utilization of agricultural byproducts and wastes in Indonesia, pp. 11-25. Workshop on organic residues in rural communities, Denpasar, Indonesia.
- [RAU09] Raussen T, Robra S. 2009. Wasser und Abfall, vol. 10, pp. 32-35.
- [WEI00] Weiss H, Pagel JF, Jacobson M. 2000. 16th World Petroleum Congress in Calgary, Canadá.
- [WEI89] Weiss H, Schmalfeld J. 1989. Science & Technology, vol. 42, pp.235-237.
- [ZHA13] Zhang Y, Hu G, Brown RC. 2013. Life Cycle assessment of the production of hydrogen and transportation fuels from corn stover via fast pyrolysis. Environmental Research Letters, vol. 8, pp. 1-13.

BIOLIQ®: LIQUID FUELS FROM AGRICULTURAL RESIDUES

Klaus Raffelt, Nicolaus Dahmen, Herbert Lam, Christoph Schwerdt,
Joerg Sauer

Karlsruhe Institut of Technology, Institut of Catalysis Research an
Technology,

Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen,
Germany

*Author for correspondence, e-mail: klaus.raffelt@kit.edu,

tel. +49(0)721/60826507, fax +49(0)721/60822244

Abstract

In the recent years Karlsruhe Institute of Technology (KIT) (Germany) developed the bioliq process for the utilization of lignocellulosic biomass like wheat straw, which is one of the most abundant agricultural residues in Europe. In general, a great variety of biomass can be used by the bioliq process, for example residues from corn and sugar production, which have a high potential as a feedstock for energy production in America. The first step of the bioliq concept consists of a fast

pyrolysis process and preparation of a suspension from the pyrolysis products. This step was proven by a 10 kg/h process development unit (PDU) amongst others by sugar cane bagasse, corn stover and corn cobs. The bioliq multi-stage concept was scaled up by a pilot plant of 500 kg/h (fast pyrolysis), 1000 kg/h (gasification) and 200 kg/h (fuel synthesis), which is actually in the phase of start-up.

keywords

lignocellulose, agricultural residue, pyrolysis, gasification, dimethyl ether, gasoline

Preliminary Considerations Regarding the Potential

The use of biomass is one important element towards a sustainable energy production in the future. In a former study, it was estimated that biomass will be able to contribute about 20% of the global primary energy in the next century [HEN02]. Biomass is unique among the sustainable energy sources, because it is the only renewable carbon source, whereas energy from wind, sea, geothermal sources, and sun can only supply heat and electricity. Carbon-based liquids will probably remain the most important fuels in the mobility sector in this century. Biomass conversion into liquids therefore makes economic sense, even if combustion or co-combustion is cheaper in the short term. Regarding the German energy biomass market, residual wood from forestry and waste wood from industry make up 41% of all organic residues (ash- and water-free mass), [LEI04] 19% are from sewage sludge and liquid manure (also ash- and water-free), 21% of organic residues are thin-walled lignocellulose substances like straw and hay. Generally, the ash content of quickly growing biomass is higher compared to wood, therefore the conversion technology should cope with high inorganic parts, including alkaline and chlorine. Entrained flow gasification is such a technology, because a high ash content is needed: The molten slag in the reactor settles onto the cooling screen inside. The thin layer of slag nearest to the cooling screen turns into a

glass-like solid and protects the reactor from corrosion, whereas the main part of the slag flows down and is discharged. The slag contains inorganic fertilizer compounds and can theoretically be delivered to the field, but further improvements are needed as the glassy slag is chemically quite inert in regard to leaching [DRI04]. As the bioliq process is designed for dirty ash-rich biomass, it is not restricted to the originally intended wheat straw, but can also be applied to other biomass wastes like corn residues or bagasse, which is explained in this paper in more detail, because these are some typical american agricultural wastes.

The main idea behind bioliq was to separate a regional pretreatment of biomass from the main step of conversion to fuel and chemicals, and thereby, to improve the economy scale and diminish costs for transport on the same time. Table 1 shows the relatively low biomasse density which implies that transport is economically unprofitable.

Table 1: Elected chemical and physical data of some agricultural residues.

biomass	moisture	ash	HHV	bulk	tap
sugar	7,5%	4,1%	17.58	50-75	n.d.*
corn	9.1%	3,9%	15.88	190	220
corn	7.6%	1,5%	17.29	290	390

*not determined.

Biomass pre-treatment in the case of the bioliq process means chopping of dry agricultural residues, flash-pyrolysis of the biomass (rapid heating-up and short reaction times of a few seconds while air is excluded) and mixing of liquid and solid pyrolysis products to a dense bio-slurry (biosyncrude). The biosyncrude can be transported over a large distance of more than 250 km. Leible et al. calculated that the energy consumption for the transportation of slurry is negligible (<1%) and the costs are low (14 € by train for 1 t of biosyncrude) [LEI03].

Brasil is worldwide by far the greatest producer of sugar cane (721 million t in the year 2012, i.e. 39% of the world production).[FAO2014] In most mills both is produced: sugar for food and bioethanol as well. Bagasse is a major residue of sugar cane after squeezing the stalks for attaining the sweet

juice. It can be used as a solid fuel for the production of process steam in the sugar cane manufacturing factories or for electricity production (own consumption and network supply). [RAU09] In the season of 2010/2011 175 million t bagasse were available in Brasil (50% water content). 145 million t were burned for steam production, ca. 14 million t were used for power generation. [EPE11] Besides dimeric sugars in the plant juice and the fibers (bagasse), a third type of product could be theoretically used energetically, the so-called sugar cane agricultural residues (SCAR), the tops and leaves of the plants. So far, they are not collected because it is economically not attractive due to the price for collection and transport; therefore no infrastructure exists and harvesters are not developed for collection of these residues.[ALO11] This SCAR amounts to 33% of the energy content of the sugar cane plant [ALO08] and is a potential feed for energetical use in the future. Moreover, energy efficiency and value added to the bagasse utilization could be increased. Technologies such as gasification, anaerobic digestion, pyrolysis and combustion can be combined with combined heat and power (CHP) production which has a higher efficiency as compared with the older energy generation technologies.[BOC09] In Argentina, maize residues could be an option to increase the share of biomass in the energy sector. Corn stover is a low-cost agricultural residue that is available in large quantities. 21.2 million t of corn were harvested in 2012 with 27.6 million t of corn stover as a by-product.[FAO14] The removal rate of corn stover from the fields is about 62% [ZHA13], but can vary significantly. Many conditions are influencing this rate, e.g. rotation of plant cultivation, biomass need for soil maintenance, nutrients

removal and the demand of additional fertilizer, erosion behavior, costs of harvesting.[HAR08] Another important waste material from the maize plant are corn cobs, making about 30% of the maize residues.[RAN83]. An advantage of corn cobs compared to corn stover is, that cobs have to be harvested in any case and cannot be left on the field. These three examples of biomass wastes are all comparable to wheat straw in respect to their chemical composition, as they are all lignocellulosic materials with a low content of proteins and fatty acids and similar contents of inorganic compounds.

Table 2: Chemical composition of dry biomass wastes in weight-%. (ash content see in Tab. 1). [GAR99]

	cellulose	hemicellulose	lignin
wheat straw	32.9-50	24-35.5	8.9-17.3
sugar cane badasse	40-41.3	27-37.5	10-20
corn stalks	35-39.6	16.8-35	7-18.4
corn cobs	33.7-41.2	31.9-36	6.1-15.9

Flash Pyrolysis

The input material has to be air-dry (15% water content or less) and thin-walled. In an inert gas atmosphere (1 bar or low pressure), the small chopped biomass particles are heated quickly up to 500°C in the reactor with a residence time of the

gaseous molecules of up to 1s. These reaction conditions are chosen to maximize the yield of liquid. Typically, the biomass is converted into 53-78% condensed liquid (tar or so-called "bio-oil"), 12-34% char (with high carbon content), and 8-20% gas (mainly H₂, CO₂, CO, CH₄, and little C₂H_x). There are four main influence factors of the solid / liquid / gas ratio: (1) the temperature (2) the vapour residence time in the hot zone (3) the ash content (4) the composition of the lignocellulose (ratio of cellulose, hemicellulose and lignin).

(1) The optimum temperature for attaining reproducibly a high yield of pyrolysis liquids, was found to be in the range of 475–525 °C. Moreover, tar yields and tar characteristics were seen to vary within a narrow range under these conditions. At lower temperatures the reaction rate decreases significantly and charring is preferred. At higher temperatures the gas yield increases.[HOR96] Note that the chemical reaction equations given in Fig. 1 and 2 are only empirical but give good estimations for a typical straw-like lignocellulose and the yields of slow pyrolysis (long residence times) can be described by the secondary tar cracking of "C₃H₅O₂" into char "CH₂", water "H₂O" and residual tar "CH₂O."

(2) In the hot zone the bio-oil is gaseous as the condensation takes place downstream. secondary cracking reactions decrease the oil yield and increase the gas and the char yield.

(3) ash promotes the secondary tar cracking, therefore the highest yields of bio-oils are found in clean wood, e.g. beech saw dust without bark.

(4) It is known that more lignin leads to higher char content and lower bio-oil. Also the oil composition changes: In lignin derived oils there is much pyrolytic lignin (oligomeres of phenol derivates and glyeryl side chains) and monomeres like guajacols. Main pyrolysis products of cellulose and hemicellulose are small chain polar molecules (alkohols, acids, ketones, esters). Hemicellulose leads additionally to furfural derived species and cellulose to sugar components like levoglucosan.

Table 3: Main compounds of bio-oils from fast pyrolysis of wood with their typical concentration range. [BRA06]

Compound	Percent age	Compound	Percent age
formaldehyde	0.8-2.6	2-hydroxy-1-methyl-1-cyclopentenene-3-one	0.3-0.5
acetaldehyde	0.6-1.0	2-methyl-2-cyclopentenone	0.1-0.5

glycolic acid	0.3-1.1	2-furaldehyde	0.3-0.5
glyoxal	0.8-1.5	N-butyric acid	0.9-1.4
methanol	0.1-1.0	syringaldehyde	0.0-1.2
(5H)-furan-2-one	0.5-0.6	guaiacol	0.2-0.5
water	16-30	4-methylguaiacol	0.2-1.2
hydroxyaldehyde	2.5-6.7	eugenol	0.2-1.8
5-hydroxymethyl furfural	0.2-0.8	syringol	0.1-0.6
acetic acid	2.3-4.7	vanillin	0.1-0.8
butanol	0.8-3.2	isoeugenol (cis+trans)	0.5-2.8
propionic acid	0.3-0.7	levoglucosan	3.0-4.5

hydroxypropa none	1.1-3.9	cellobiosan	0.0-2.3
----------------------	---------	-------------	---------

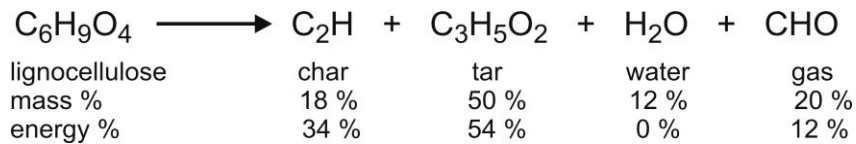


Fig. 1: -Simplified reaction equation of fast pyrolysis of dry lignocellulose biomass. Elemental formulae are empirical, symbolizing in each case a phase with nearly the given elemental composition. [HEN05]

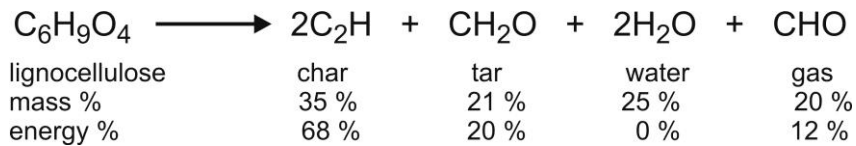


Fig. 2: Simplified reaction equation of slow pyrolysis of dry lignocellulose biomass. Elemental formulae are empirical, symbolizing in each case a phase with nearly the given elemental composition. [HEN05]

The three biomass waste materials sugar cane bagasse, corn stover and corn cobs were pyrolyzed in the bioliq process development (PDU) unit at KIT with a throughput of max. 10 kg/h of chopped material. Feed material and sand as the heat carrier are fluidized mechanically in a twin-screw reactor originally developed by LURGI AG in the mid of the 20th century for coal and refinery residue treatment. [Lee07]. The reactor type was chosen because it had been used for many decades [WEI00] [WEI89] and this already existing experience could be adapted to a process for biomass conversion. Fig. 3 shows schematically the reactor. The reactor screws of the PDU in Karlsruhe have a length of 1.5 m and an inner and outer diameter of 20 and 40 mm, respectively. They are intermeshing and self-cleaning. 500 °C hot sand falls onto the straw in excess of ca. 10:1 both being mixed with an excellent heat transfer. While the straw is pyrolyzed, the vapor phase (tar vapour and permanent gas components) is sucked off by low pressure together with the coarse char pre-milled by abrasion with the reactor screws and the heat carrier particles. Next to the reactor, the fine-sized char particles are separated from the gaseous phase by two cyclones. Then, the vapors are cooled in two condensers in which an organic tar is collected (about 10% water) as well as an aqueous solution of water-soluble molecules (about 70% water). The remaining gas has a low heating value only and consists of 45-65% CO₂, 27-45% CO, 5-9% hydrocarbons, and < 0.3% H₂. In a commercial plant, this non-condensable gas would be combusted for improving the energy balance.

Because the flammability of this gas is low, it must be preheated first using low-temperature waste heat from the process. Downstream of the twin screws, the heat carrier is transported upwards by a bucket elevator and falls down again onto fresh straw passing a heat exchanger. A minor part of coarse char in the heat carrier can be accepted, because it will be further milled during the following runs in the twin screws. No char accumulation has been observed inside the heat carrier.

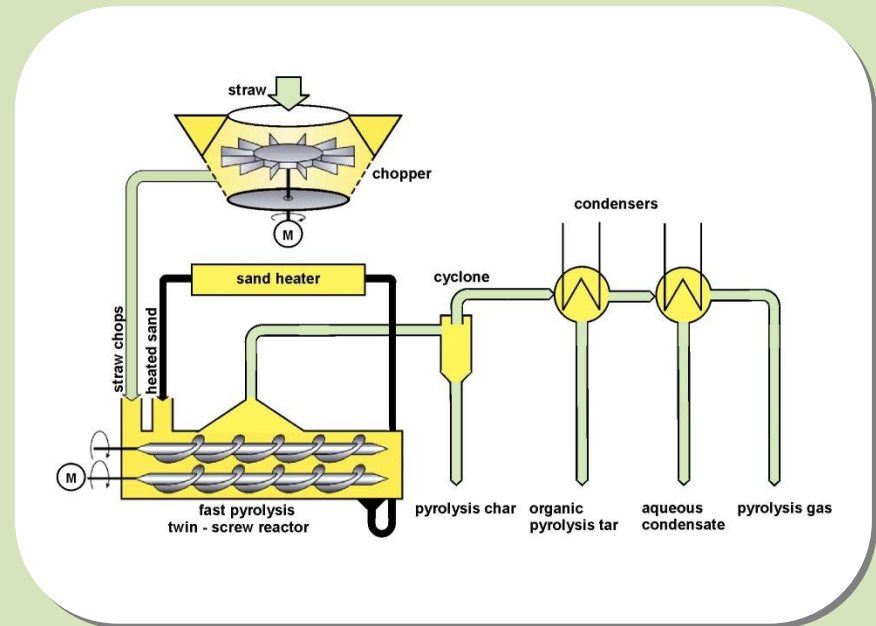


Fig. 3. Schematic representation of the process demonstration unit for flash pyrolysis at KIT.

Table 4. Product yields in weight % of biomass flash pyrolysis in a twin - screw reactor at 500 °C and atmospheric pressure. Sand / biomass mixing ratio ~ 10:1. The gas yield is calculated by the mass difference of feed, liquid and solid products. The results are given as means of 3 - 4 experiments, each experiment with 15 - 25 kg feed material.

	condensate	organic solids	water	char	ashes	gas
sugarcane bagasse	63.0	45.6	17.4	17.2	4.1	19.8
corn stover	50.4	29.6	20.8	22.5	5.4	27.1
corn cobs	78.1	31.2	22.5	12.1	1.7	9.8

Table 5. Energy of pyrolysis products in % relating to the feed, reaction conditions as mentioned at Table 4.

	condensate	char	biosyncrude	difference to the feed
sugarcane bagasse	55.9	20.5	76.4	23.6
corn stover	57.6	33.1	90.7	9.3
corn cobs	52.8	19.5	72.3	27.7

Slurry Preparation

Dry char is highly reactive and its handling is dangerous as far as powder self-ignition and dust explosions are concerned. For storage and transportation, char and tar are mixed to a highly viscous suspension (biosyncrude) which has a much higher density and energy content than the biomass itself. A mixture

of about 20% of straw char and 80% pyrolysis liquid at first represents a crumbly, thick, and wet bulk material. At surprisingly low solid concentrations, flowability is lost. Due to its high porosity and wetting ability, the char absorbs the pyrolysis liquid like a sponge. This crumbly material has favorable safety properties and is suitable for long-term storage, but can neither be pumped through the pipes of the gasifier nor can it be atomized which is necessary for complete carbon conversion at a low reaction time. The crumbly substance becomes liquid by means of a colloid mixer due to de-agglomeration. [RAF05, RAF06] A highly viscous, pumpable slurry is formed (density ~ 1200 kg/m³). Particle size reduction by further milling processes has an additional large effect, because not only the agglomerates, but also the single particles have a high porosity. Especially the macropores are destroyed by milling, because they act like breaking points. In Table 5 it is shown that the mixture of pyrolysis condensate and char contains up to 90% of the energy of the biomass (residues of maize and bagasse).

The pilot plant

The fast pyrolysis pilot plant at KIT is in operation since 2010 in test campaigns of typically one week using wheat straw as the feed material. In future other types of biomass will also be processed, but alterations are needed then e.g. in the feeding system. A simplified flow sheet is shown in Fig. 4. The main

difference compared to the PDU is the lift pipe for heating the sand by burning natural gas (later by the pyrolysis gas) and elevating the heat carrier by the hot flue gas. The pilot plant has a throughput of 500 kg/h biomass. The liquid products are divided in a tar phase (condensation at 85-100 °C) and an aqueous phase (condensation at 20–40 °C). After cooling, char and condensates are mixed to biosyncrude and stored for gasification in the next stage of the pilot plant.

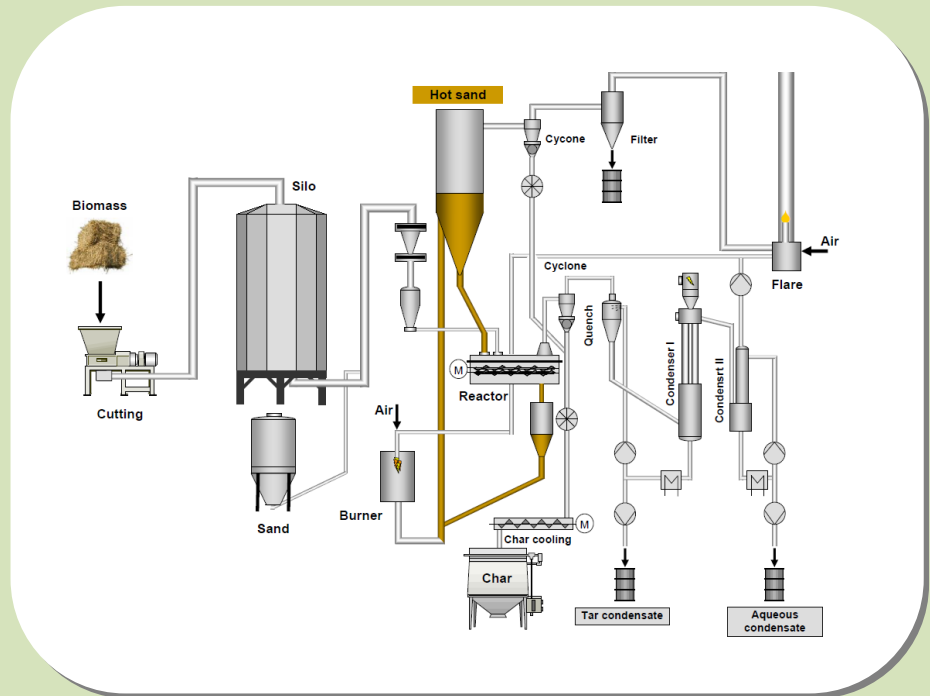


Fig. 4. Schematic representation of the pilot plant for flash pyrolysis at KIT.

Entrained Flow Gasification

Biosyncrude gasification and fuel synthesis of the pilot plant at KIT are described in [DAH12], [DAH10] and are only briefly summarized in this publication. Entrained flow gasification was chosen because it is highly suitable for ash rich feed materials providing a synthesis gas which is almost free of tar and methane. Gasification with technical oxygen at pressures up to 80 bar leads to less gas volume in the gas cleaning section. The optimal throughput is 1000 kg/h biosyncrude (equivalent to 5 MW thermal fuel capacity). Gasification temperature is $> 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, above the melting point of the biomass ash, because slagging is an important aspect of the process design. The raw syngas is quenched by pressurized water and passes a hot gas cleaning devices at temperatures $> 500\text{ }^{\circ}\text{C}$: A particle filter with ceramic filter elements for char, soot and alkaline trace removal, a fixed bed sorption with minerals for retention of HCl, H₂S, COS and alkalines, and a catalyst bed for decomposition of NH₃, HCN and organic trace components. Fig. 5 shows a flow diagram of the synthesis part of the bioliq pilot plant. CO₂ is absorbed by a liquid solvent which is later recycled by desorption. DME synthesis is carried out in a one-step reactor by a mixed catalyst for methanol formation and water dehydration. This reaction is linked with a water-gas-shift reactor for the fine-tuning of the CO/H₂ ratio as CO and H₂ concentrations of the synthesis gas may differ from the optimal conditions for DME synthesis. Gasoline is produced in a next reactor from DME by a ZSM-5 zeolite catalyst, separated from water and unreacted DME and is then conditioned in a

rectification column by separation of smaller amounts of heavy and light fractions. The complete plant is a complex system of combined reactors with gas recycle and heat exchange in order to maximize the gasoline yield (adjusting CO/H₂ and recirculation of unreacted DME), and in order of heat recovery, as each of its single reactors has its own optimal temperature (5 °C to 430 °C). The pressure is reduced along the process chain from around 80 bar (gasification) via 60 bar (DME formation) to 20 bar (gasoline formation).

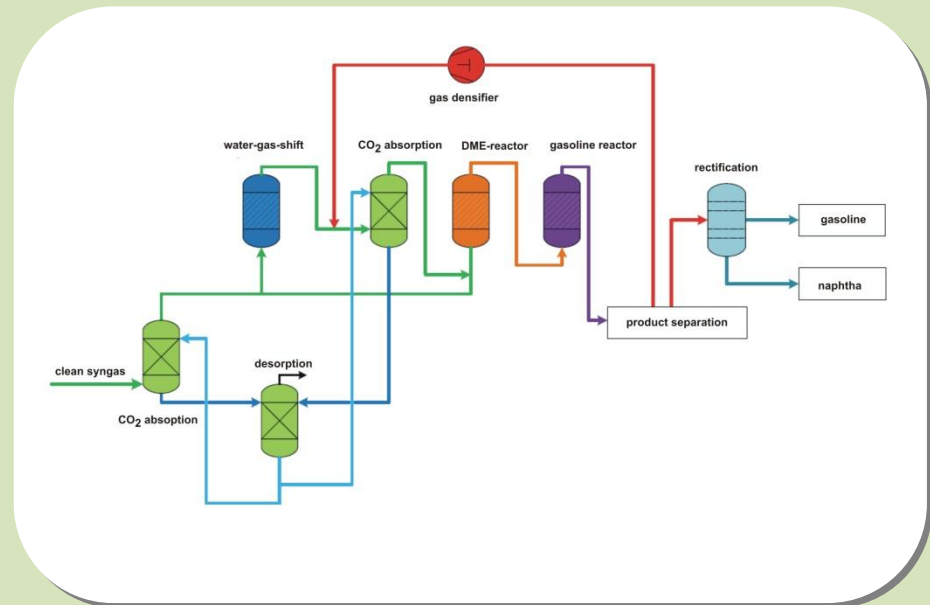


Fig. 5: Gasoline synthesis from clean syngas via DME, realized in the bioliq Pilot Plant, Karlsruhe, Germany.



Fig. 6: The bioliq Pilot Plant at KIT, Karlsruhe, Germany. From left: Biomass preparation (chopping and milling), fast pyrolysis, biosyncrude storage, entrained flow gasification, gas cleaning, synthesis of gasoline.

The pilot plants for gasification, gas cleaning, and synthesis were completed mechanically during 2012, the operation was proved by functional and performance tests. In 2014 there will be the first concerted action of all process steps, from wheat straw pyrolysis, biosyncrude production and storage, via gasification and gas cleaning to gasoline production. The erection, operation, and further development

of the pilot plants are carried out in cooperation with partners from industry. Air Liquide Engineering & Construction Germany, Frankfurt, is the partner for fast pyrolysis and gasification, MAT Mischanlagentechnik GmbH, Immenstadt, for biosyncrude preparation and storage, MUT Advanced Heating GmbH, Jena, for gas cleaning, and Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH for synthesis.

Conclusions

As an example, it has been shown, that sugarcane bagasse, corn stover and corn cobs are converted into biosyncrude from pyrolysis products with an energy content of 80%, 73%, and 90% compared to that of the original biomass residues. Biosyncrude has an energy density which is high enough for an economic transport and which is suitable for gasification to synthesis gas and a downstream gasoline synthesis. In 2012, the bioliq pilot plant has just been completed and is now in the start-up phase to be proven in the scale of 200 kg/h (synthesis) - 1000 kg/h (gasification) with wheat straw as feed material, which is quite comparable to the materials mentioned here. Principally, one clean syngas can be produced, there are several options for its use. By already existing processes, it can be converted into any type of fuels as used today (diesel, kerosene, gasoline), but also to chemicals via Fischer-Tropsch synthesis or via methanol as an intermediate as well as to hydrogen and methane. Therefore, the bioliq process opens up

alternative routes to the established fossil routes in order to produce important chemical products and energy carriers.

References

- [ALO08] Alonso-Pippo W, Luengo CA, Koehlinger J, Garzone P, Cornacchia G: Energy Policy Vol. 36, pp. 2163–2181 (2008).
- [ALO11] Alonso-Pippo W, Luengo CA, Alonsoamador Morales Alberteris L, Garzone P, Cornacchia G, waste biomass valor, vol. 2, pp.1-16, 2011.
- [BOC09] Bocci E, Di Carlo A, Marcelo D, Power plant perspectives for sugar cane mills, Energy, vol. 34, pp. 689-698, 2009.
- [BRA06] Branca C, Di Blasi C, Ind. Eng. Chem. Res., vol. 45, pp. 5891-5899, 2006
- [DAH10] Dahmen N, Henrich E, Kruse A, Raffelt K, Biomass liquefaction and gasification, chapter 5 in: Vertes AA, Qureshi N, Blaschek HP, Yukawa H, Biomass to Biofuels: Strategies for Global Industries, Wiley-VCH, pp.91-122, 2010.
- [DAH12] Dahmen N, Dinjus E, Kolb T, Arnold U, Leibold H, Stahl R,
- [DRI04] van der Drift A, Boerrigter H, Coda B, Cieplik MK, Hemmes K, Entrained Flow Gasification of Biomass - Ash behaviour, feeding issues, and system analyses, ECN report 04-039, 2004.
- [EPE11] Empresa de Pesquisa Energetica. Balanco Energetico Nacional 2011-ano base 2010 and 2008, data available at <http://ben.epe.gov.br>
- [FAO14] homepage of the Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 2014
- [GAR99] Garotte G, Dominguez H, Parajo JC, Hydrothermal processing of lignocellulosic materials, European Journal of Wood and Wood Products, vol. 57, pp.191-202, 1999.
- [HAR08] Harvesting Stover - Fact Sheet of the Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, January 2008.
- [HEN02] Henrich, E., Raffelt, K., Stahl, R. and Weirich, F. (2002), Pyrolysis 2002 Conf. in Leoben, Austria, 17-20 September 2002.
- [HEN05] E. Henrich, presentation at SYNBIOS conference, 18-20 May 2005, Stockholm, Sweden.
- [HOR96] Horne PA, Williams PT, Fuel, vol. 75, 1051, 1996.
- [JOR97] Jorapur R, Rajvanshi AK, Biomass Bioenergy, 13, 141-146, 1997.

[LEI03] Leible L., Arlt A., Fuerniss B., Kaelber S., Kappler G., Lange S., Nieke E., Roesch C., Wintzer D. (2003), Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6882, Forschungszentrum Karlsruhe, p 92.

[LEI04] Leible, L., Kaelber, S., Kappler, G., Lange, S., Nieke, E., Wintzer, D., Fuerniß, B. (2004), 2nd World Conf. on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection in Rome, 2113-2116.

[LEE07] Lee S, Speight JG, Loyalka SK., Handbook of Alternative Fuel Technologies, CRC Press p. 276, ISBN 978-0-8247-4069-6 (2007).

[RAF05] Raffelt K, Henrich E, Steinhardt J, Dinjus E, 14th European Biomass Conference 17-21. Oct.2005 in Paris (2005).

[RAF06] Raffelt K, Henrich E, Steinhardt J, Dinjus E (2006) Preparation and characterization of biomass slurries: a new feed for entrained flowgasification. In: Bridgwater AV, Boocock DGB (ed) Science in thermal andchemical biomass conversion, vol 2. CPL Press, Newbury, pp 1547–1558

[RAN83] Rangkuti M, Djajanegara A, The utilization of agricultural byproducts and wastes in Indonesia. Workshop on organic residues in rural communities, Denpasar, Indonesia, 1983, 11-25

[RAU09] Raussen T, Robra S, Wasser und Abfall Vol. 10, pp. 32-35, 2009.

[WEI00] Weiss H, Pagel JF, Jacobson M. 16th World Petroleum Congress in Calgary, Canada, 2000.

[WEI89] Weiss H, Schmalfeld J. Science & Technology vol. 42, pp.235-237, 1989.

[ZHA13] Zhang Y, Hu G, Brown RC, Life Cycle assessment of the production of hydrogen and transportation fuels from corn stover via fast pyrolysis, Environ Res Lett vol. 8, pp.1-13.

ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS BIOMÁSICOS AGROPECUARIOS

Jorge Antonio Hilbert

*Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – Universidad
Tecnológica Nacional (UTN)
Buenos Aires, Argentina*

Resumen

Durante la última década hemos sido testigos de un crecimiento exponencial del empleo de diferentes fuentes de biomasa con fines energéticos comerciales. Esta tendencia fuertemente apoyada por el ambientalismo se ha modificado debido a la difusión y persuasión por los medios masivos de comunicación que actúan sobre la percepción pública. Estas variaciones de la percepción pública han ocasionado cambios significativos en la imagen de esta fuente de energía y consecuentemente modificaciones en los mecanismos de promoción y comercialización que están afectando seriamente a la industria. Los biocombustibles más afectados por estas campañas han sido los tradicionales de doble propósito en beneficio de supuestas ventajas de los cultivos energéticos ligados a la producción de biocombustibles de 2ª generación. Si se analizan los fundamentos científicos empleados en cuestiones ligadas a impactos ambientales y sociales se nota claramente que los trabajos sobre los cuales se edifican las argumentaciones son antiguos, parciales y carecen de una visión sistémica. Claramente la forma de evaluar cada

alternativa de producción difiere sustancialmente lo cual explica la publicidad de diferencias que en la realidad no son tales. La producción de biomasa no puede ser estudiada como hecho aislado desligándola de los fuertes vínculos con toda la cadena de producción y transformación de agro productos. En la mayor parte de los casos el uso de biomasa sería totalmente inviable si no está contemplada dentro de una compleja cadena de transformación agropecuaria y agroindustrial. Se deben tener en cuenta los diferentes aspectos medioambientales ligados a la extracción de biomasa de los diferentes agroecosistemas para lo cual son muy importantes los datos de campo y el empleo de modelos y sistemas de información geográfica.

Palabra clave: biocombustibles, biomasa, biodiesel, bioetanol, biogás.

Introducción

El hombre, desde los principios de su evolución en la tierra, ha dependido fuertemente de la biomasa, y su aprovechamiento en estado sólido para la cocción, calefacción e iluminación sigue siendo muy común en muchas sociedades. Las principales fuentes de biomasa han sido los restos vegetales secos, la leña y el estiércol seco de los animales. Muchas sociedades de bajo nivel de desarrollo y especialmente los sectores rurales de bajos ingresos aún dependen de este tipo de fuentes. Su uso en lugares cerrados trae aparejado una serie de enfermedades respiratorias e intoxicaciones por gases como el monóxido de carbono. Por otro lado, en muchos casos se realiza una explotación no renovable de estos recursos con consecuencias negativas como la deforestación, la pérdida de biodiversidad y el deterioro ambiental.

Luego de pasar muchas décadas disfrutando de una explotación creciente de los yacimientos carboníferos, gasíferos y petrolíferos, el cambio climático y la vulnerabilidad derivada del paulatino agotamiento de los recursos fósiles mencionados, sumados a una demanda creciente de energía ha provocado que las administraciones de muchos países adoptaran medidas en pos de diversificar las fuentes de energía y mitigar esos impactos negativos. Se han desarrollado, perfeccionado y usado en forma creciente fuentes alternativas de energía, que suplanten a las reservas de recursos fósiles en continua disminución. Los biocombustibles líquidos, sólidos y gaseosos han cobrado particular relevancia por su fácil uso en calefacción,

generación eléctrica, vehículos y motores de combustión interna sin modificaciones relevantes.

La Argentina no es ajena a este escenario. Su futuro desarrollo está fuertemente condicionado por el suministro energético dado que sus yacimientos de recursos fósiles se encuentran en una etapa madura decreciente y la exploración de nuevos yacimientos convencionales y no convencionales requieren de muy fuertes inversiones y períodos de tiempo para su puesta en funcionamiento comercial. Mantener al mercado interno abastecido implica serios desafíos para las actuales y futuras administraciones de manera de lograr el autoabastecimiento evitando la pérdida de importantes divisas que servirían para afianzar un desarrollo local en diferentes regiones del país.

Según Thofern, “la bioenergía, y específicamente los biocombustibles, han sido promovidos como medios para mejorar la **independencia energética**, promocionar el **desarrollo rural** y reducir las **emisiones** de Gases de Efecto Invernadero (GEI)”. En el siguiente gráfico se ejemplifican los diferentes vectores que contribuyen a su uso y crecimiento.

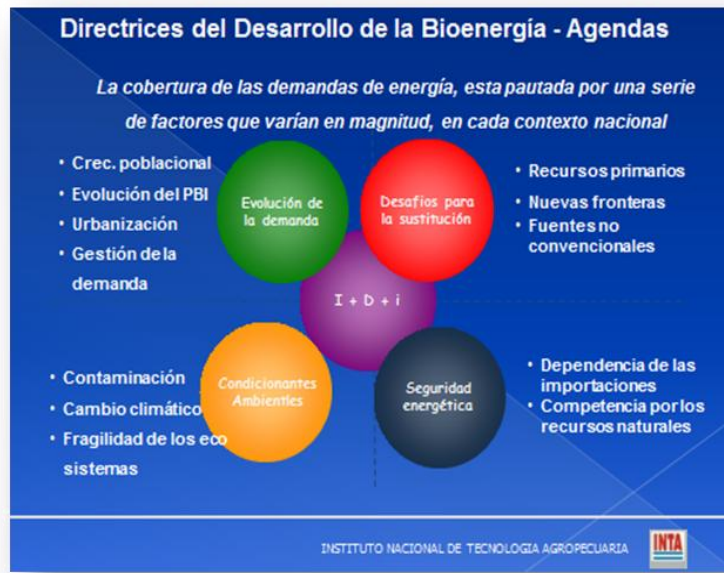


Figura 1: Principales vectores del desarrollo de la bioenergía

Actualmente la bioenergía representa, según la IEA (2012), aproximadamente un 10 % de la matriz energética mundial, con amplia participación de la leña, y puede jugar un importante rol junto a otras fuentes no convencionales en el cambio de una economía basada en los combustibles fósiles hacia otra basada en un abanico de fuentes. Los residuos orgánicos de ciudades e industrias, la agricultura y la silvicultura constituyen las principales fuentes de biomasa para elaborar bioenergía en diferentes vectores, como la leña, el carbón, briquetas, biogás, bioetanol, biooil biodiesel y bioelectricidad, entre otros.

Debemos incorporar al concepto de utilización de las fuentes de biomasa el desarrollo de coproductos de alto valor agregado que permitirán la sustentabilidad económica de este tipo de emprendimientos.

Desarrollo:

La energía solar constituye el origen de toda biomasa tanto de origen animal como vegetal a partir del proceso fotosintético. Para el desarrollo de esta captura se requiere del suministro de los elementos esenciales que hacen posible los procesos fotosintéticos, como la provisión de radiación solar, agua, dióxido de carbono, nutrientes y temperatura, citando los principales. Estos factores son requerimientos fundamentales para el logro de volúmenes significativos explotables comercialmente.

Los profesionales de la agronomía tienen como una de sus principales incumbencias la de optimizar los factores mencionados para lograr mayores rendimientos con un empleo racional de los recursos involucrados.

En términos energéticos, la eficiencia de captación y conversión por parte de los vegetales es relativamente baja y el área de captación y acumulación se encuentra muy dispersa sobre la superficie de la tierra. Los recursos provenientes de biomasa poseen como característica la baja densidad energética (reducido contenido de energía aprovechable por unidad de masa o volumen) y con una alta dispersión geográfica (distribución de la misma en un amplio sector de terreno). Para lograr un aprovechamiento sustentable desde el punto de vista económico, social y

ambiental se deben superar los desafíos que estas dos características mencionadas demandan. Para ello es preciso emplear modernas técnicas de sistemas de información geográfica produciendo verdaderos atlas del recurso. En este sentido el INTA viene efectuando estos estudios en todo el país y ya están disponibles los primeros resultados obtenidos. <http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia/bio.htm>. Hoy en día se continúa perfeccionando estas bases de información a nivel provincial por parte del INTA y del proyecto PROBIOMASA del MINAGRI.

Un elemento muy importante a tener en cuenta para establecer zonas de producción y distribución son las características del territorio en cuanto a su clima, suelo y accesibilidad, a lo cual se le debe sumar las cadenas de transformación primaria y secundaria de los productos. Junto a FAO se ha trabajado cuantificando geográficamente la potencialidad de producción de bioenergía mediante el empleo de la metodología WISDOM, cuyos resultados pueden consultarse en <http://www.fao.org/docrep/011/i0900s/i0900s00.htm>. Estos y otros estudios complementarios del INTA sobre una extensa variedad de cultivos permiten hoy en día tener una base importante de información georreferenciada que cubre la totalidad del país.

Ante cualquier incremento del uso de biomasa con fines energéticos a nivel mundial, tres temas requieren de un estudio y análisis. Ellos son los balances energéticos, la competencia con los alimentos y la preservación del medio ambiente. Esto ocurrió a principios del siglo pasado cuando la

tracción animal consumía grandes cantidades de recursos vegetales, problema que se resolvió con el advenimiento de los motores y el descubrimiento del petróleo. Hoy en día, ante crecientes consumos de bioenergía con diferentes fines, estos temas vuelven a estar en la mesa de discusión.

Desde el inicio de la difusión y puesta en marcha de la producción de biocombustibles a nivel mundial, los tres temas descritos anteriormente se están expandiendo al uso del agua y minerales como recursos.

La acción de diferentes centros de investigación, organismos no gubernamentales ecologistas y partes interesadas ha instalado con fuerza el tema de las amenazas que se presentan ante una expansión irrestricta de la producción de biocombustibles en el mundo así como el impacto de la producción agrícola.

Estos enunciados, que tratan de instalar una idea de competencia, en realidad tienen muy escasos sustentos dado el bajísimo impacto relativo de los biocombustibles en la producción agrícola en general. A modo extremo, el destino significativo de maíz en Estados Unidos a bioetanol no ha provocado mermas significativas en los volúmenes de exportación de ese país en los últimos años. Otro es el caso de algunos países Africanos, donde la difusión de supuestos cultivos que no compiten con alimentos, como la *Jatropha*, en realidad ocupa tierras donde se producían o pueden producirse alimentos. En definitiva, todo depende de los techos productivos que los gobiernos fijen en función de los diferentes destinos.

Si analizamos el desarrollo y las características de los países líderes en la producción de biocombustibles nos encontramos con varias características que se repiten:

- Proviene de cadenas de transformación de gran tamaño y desarrollo
- Son derivados de producciones alimentarias o agroindustriales como subproductos, residuos o como productos alternativos
- Aprovechan la logística y las economías de escala ya desarrolladas
- Producen impactos múltiples en los mercados con surgimiento de nuevos productos, sustitución, cambio de precios etc.
- Están fuertemente afectados por medidas político-administrativas dentro y fuera de las fronteras

La producción de biomasa no puede ser estudiada como hecho aislado desligándola de los fuertes vínculos con toda la cadena de producción y transformación de agro productos. En la mayor parte de los casos el uso de biomasa sería totalmente inviable si no está contemplada dentro de una compleja cadena de transformación agropecuaria y agroindustrial. Se debe tener mucho cuidado al valorizar números aislados que representan datos de rendimiento o impacto ambiental ya que más allá de las cifras finales lo que realmente importa es como se tomaron las cadenas de

transformación y como fueron tenidos en cuenta los co-productos que se generan en las mismas.



Figura 2. Interacciones complejas de los sistemas de producción y transformación de biomasa en alimentos y bioenergía

La agricultura, y los alimentos en particular, son uno de los mercados más controlados y regulados del mundo y ningún país va a permitir un impacto que sea negativo sobre la seguridad alimentaria de sus poblaciones. En esta línea, se estima que la producción de bioenergía contribuirá o no a la seguridad alimentaria, la pobreza y la mitigación del cambio

climático dependiendo de cómo se desarrolle el sector de producción.

Hoy en día se están revisando paradigmas que cuestionaban seriamente los biocombustibles de 1ª generación provenientes de co-productos de cultivos alimenticios. Estas fuentes, a las que se pretende desincentivar, tienen considerables ventajas sobre los llamados cultivos energéticos para la producción de biocombustibles de 2ª generación, entre las que podemos citar:

- Por superficie agrícola utilizada brindan un componente de alimentos para el ser humano o animales muy significativo y de alta calidad
- Ante cambios en las reglas comerciales, legislativas o ante la aparición de plagas, enfermedades o desórdenes climáticos que afecten la producción de alimentos tienen la flexibilidad de eliminar la transformación en biocombustibles y dedicar toda la biomasa a alimentos
- Poseen un desarrollo técnico con base científica muy elevado con prácticas y maquinaria agrícola muy desarrollada
- Poseen toda una cadena logística y de transformación que puede ser aprovechada

Los diferentes productos agropecuarios se encuentran hoy en día bajo estudio y seguimiento con todos sus

derivados, como caso paradigmático y avanzado se encuentra el biodiesel de soja.

Los biocombustibles han penetrado en los mercados mundiales de la mano de diferentes instrumentos de fomento como son los cortes obligatorios, beneficios impositivos y subsidios. Una buena parte de dichos apoyos fueron basados en promover una fuente de energía alternativa que redujera los impactos negativos de los combustibles fósiles. Ante las controversias mencionadas, las administraciones buscan asegurarse de que estas premisas sean cumplidas imponiendo análisis y restricciones al ingreso de biocombustibles que no cumplan con determinadas pautas preestablecidas. Dichos organismos han acudido a los institutos y grupos de investigación en la búsqueda de herramientas idóneas que le den fundamento y criterio científico a las regulaciones en preparación.

Esta creciente preocupación acerca de la sustentabilidad de los biocombustibles ha llevado a instituciones científicas, académicas, así como a ciertos gobiernos e instituciones, a trabajar intensamente en estos temas. Dada la significativa participación de Argentina como primer exportador mundial de biodiesel, se analiza con suma atención su evolución así como otras posibles fuentes de biomasa, lo cual implica una nueva demanda a áreas y programas del INTA así como sus unidades.

La realidad actual es que las velocidades son asimétricas y aún existen muchas dudas y problemas sin resolver en el campo científico, lo cual obliga a avanzar con

importantes grados de incertidumbre. Esta realidad está presente en todos los ámbitos, y a pesar de no interrumpirse el avance regulatorio se están tomando medidas para corregir posibles errores ante la falta de un sustento consolidado.



Figura 3. Dinámica de la instalación de las temáticas ligadas a la sustentabilidad en el mundo

Si se analizan en forma comparativa los volúmenes de recursos y superficies afectadas para la producción de bioenergía el impacto es muy bajo aunque puede tener importancia en áreas muy particulares. Las situaciones son muy diferentes según la región y el país considerado. Para dar ejemplos la Unión Europea basa su expansión y dedicación de

crecientes superficies a la bioenergía empleando áreas que estaban siendo subsidiadas para no producir y mantener un cierto nivel de precios de los productos agrícolas. En el otro extremo tenemos a muchos países africanos con agriculturas muy retrasadas de bajos rindes y altas pérdidas. En este escenario el planteo de dedicar superficies a la producción de biomasa para bioenergía podría tener altos perjuicios para la seguridad alimentaria de su población.

En el caso Argentino, dado su nivel de desarrollo agropecuario, su capacidad de alimentar a más de 300 millones de personas, así como la amplia disponibilidad de tierras en el mediano plazo, no se vislumbran conflictos de interés para el uso de cultivos y residuos del sector.

Sin lugar a dudas la superficie agrícola mundial es un factor limitante, y los usos que se le den a la tierra siempre van a estar sujetos a políticas activas y controversias. Un aspecto al cual se le está prestando mayor atención en los últimos años es a la conservación y empleo eficiente de los alimentos así como el aprovechamiento de los residuos generados. Para tener una idea de las cifras que se manejan en gran parte de los países, un reciente estudio de la FAO estima que casi un 1/3 de los alimentos se tiran antes de llegar a la boca de los consumidores. Si bien estas cifras no tienen la publicidad que deberían, aquí existe un gran campo de trabajo. A este fenómeno de desperdiciar más de 1500 millones de toneladas anuales se le deben sumar las fuertes distorsiones en los patrones alimentarios con más de 800 millones sufriendo obesidad y casi el doble con sobrepeso. Esta realidad muestra a las claras que los problemas

alimentarios mundiales no se relacionan con la capacidad de producción sino con la distribución del ingreso y un fomento continuo hacia el consumo indiscriminado de alimentos en muchos casos no saludables para el ser humano.



Figura 4. Disyuntivas de la humanidad para un uso racional de los recursos energéticos y alimentarios

Las controversias mencionadas han impulsado con mayor énfasis estudios y tecnologías capaces de emplear los residuos agropecuarios y forestales. El aprovechamiento de

los mismos enfrenta desafíos dada sus dos características fundamentales ya mencionadas, que se traducen en metodologías para su acondicionamiento, logística, transporte y transformación a fin de lograr cadenas competitivas.

Las nuevas reglamentaciones que condicionarían el futuro comercio internacional de los biocombustibles hacen especial hincapié en promocionar alternativas de productos que provengan de residuos de todo tipo, dentro de los cuales los agrícolas conforman un grupo importante. La Unión Europea, como uno de los principales mercados compradores, se prepara para cambiar su legislación desalentando los biocombustibles provenientes de cultivos y promoviendo aún más aquellos derivados del uso de residuos y partes no comestibles de las plantas.

Paralelamente se está observando un creciente fomento al desarrollo de cultivos específicos para bioenergía argumentando que al no ser alimentación no competirían con los mercados alimentarios. Esta aseveración es relativa ya que si se destinan crecientes superficies a la explotación de estos cultivos como el switch grass, miscanthus, etc., se dejarán de producir alimentos en dichos campos y por lo tanto por medio del impacto indirecto del cambio del uso de la tierra ILUC existirá un efecto negativo.

La finalidad de uso de estos recursos celulósicos se centra en su aprovechamiento para la generación de biocombustibles llamados de 2ª generación. Los planteos y alternativas de biocombustibles de 2ª generación, dado su alto requerimiento de inversión y su marcado consumo de insumos

y energía, requieren, para alcanzar una viabilidad técnico económica, que las materias primas provengan de residuos de bajo costo, abundantes y a distancias reducidas de los centros de transformación. Sumado a ello también es necesario que estos sistemas contemplen el aprovechamiento integral de todos los flujos de biomasa y nutrientes buscando la producción de co-productos de alto valor agregado.

Tratando de cubrir todos los imponderables que pueden derivar de la puja por la tierra entre cultivos dedicados a alimentación humana, animal o a fibra con los dedicados a bioenergía, que lleguen a poner en riesgo el abastecimiento de los primeros y determinen aumentos considerables de los precios, o bien para precisar el riesgo en la sustentabilidad del recurso suelo que podría derivarse del retiro inadecuado de rastrojos se ha incorporado la **modelación** como herramienta estratégica para poder generar conocimiento de los escenarios futuros y promover acciones que eviten los impactos negativos y favorezcan los cambios que ayuden al mejor desarrollo territorial en un marco de sustentabilidad agroecológica, económica y social.

Se ha avanzado en la modelación de escenarios futuros de cambio de uso del suelo pasando de utilizar modelos empíricos que permiten construir hipótesis sobre las variables que han contribuido a establecer un uso del suelo específico en una región y proyectar hacia el futuro las tendencias que esas variables han tenido en el pasado, hasta llegar a la utilización de modelos combinados empíricos y teóricos donde es posible introducir las acciones del hombre como sujeto económico que actúa atento a las variables

económicas (nacionales o internacionales) que se le presentan decidiendo los cambios actuales o futuros en el uso del suelo.

También se han logrado progresos evidentes en la modelación del retiro sustentable de rastrojos frente a la necesidad de reducir la incertidumbre en el aprovisionamiento de biomasa para las futuras industrias de biocombustibles celulósicos. Se ha pasado de modelos generales a modelos que pueden explicitar espacialmente el volumen de biomasa disponible actual, y estimar incluso el que se prevé disponer en el futuro atento a la evolución tecnológica prevista. Ello permitirá sin duda una mejor localización de las industrias que utilizan materia prima biomásica reduciendo los costos de logística que implica el transporte de este material, así como también disminuir la incertidumbre por la provisión del volumen necesario para la normal operatoria de las plantas a largo plazo. Ambos factores son clave para la viabilidad y sustentabilidad del negocio. Si se tiene en cuenta el altísimo costo de inversión que implica una planta de producción de biocombustible celulósico (2ª generación), o más aún de una biorrefinería (generando productos de 2ª y 3ª generación), la previsibilidad del aprovisionamiento se vuelve materia de insoslayable tratamiento.

La precisión de los resultados de toda modelación dependerá sin duda de la bondad de la información que se introduzca y de que se hayan contemplado las variables más importantes que promueven los cambios en el objeto a modelar. Debe destacarse entonces que los países que más han avanzado en modelación de escenarios cuentan con

datos de base de altísima precisión en muchos de los ítems que deben ser considerados al encarar estudios tanto de escenarios futuros en el uso de la tierra como de factibilidad de remoción de residuos. Esto presenta un enorme desafío para la Argentina donde el grado de conocimiento sistémico de los diferentes agroecosistemas es reducido y no se cuenta con información de base suficiente para poder implementar los modelos con cierto grado de certidumbre sobre los resultados obtenidos.

Durante la última década se ha desarrollado en Europa y América del Norte un mercado de consumo de biocombustibles, sustentado principalmente por políticas gubernamentales que priorizan su utilización, en una estrategia de independencia frente a las energías tradicionales y a la sustentabilidad del medio ambiente. Estas políticas van incorporando permanentemente nuevas exigencias a fin de garantizar el cumplimiento de los objetivos ambientales por los cuales se realiza la promoción. Las últimas incorporaciones a punto de hacerse efectivas, como ya fue mencionado, dan un giro mayor hacia la promoción, conversión y uso de biomasa procedente de residuos.

El insumo más utilizado en lo que respecta al mercado europeo de energía para calefacción es el pellet, que se obtiene a partir del procesamiento industrial de desperdicios de la madera así como residuos muy diversos contemplando cultivos y procesos de transformación. Este producto logra satisfacer necesidades técnicas, de calidad y conservación del medioambiente. Asimismo, constituye un producto energético renovable y una alternativa de valor a los desperdicios, si bien en nuestro país su empleo y explotación es incipiente el potencial de aprovechamiento es enorme.

Cuando se plantea el retiro y empleo de residuos de cultivos nos enfrentamos con una nueva exigencia sobre el agroecosistema que debe ser valorada en cada situación en particular. Los cultivos extensivos de especies gramíneas son potenciales fuentes de materia prima lignocelulósica para producción de energía dada su relativa mayor eficiencia de conversión de la energía solar en compuestos orgánicos al ser

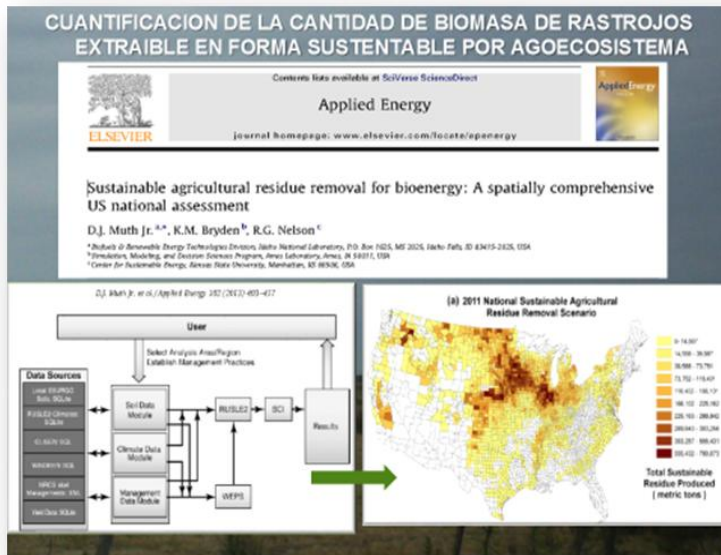


Figura 5. Aplicación de modelos complejos para el establecimiento de la tasa sustentable de extracción de biomasa en los Estados Unidos.

plantas carbono cuatro. Una vez realizada la cosecha de estos cultivos queda en el lote de producción una cantidad importante de biomasa de “residuos de cosecha” que llamamos comúnmente rastrojos. El rastrojo está compuesto principalmente por cañas (macollos secos) que tienen una alta relación C/N y una alta proporción de lignina y celulosa en sus tejidos. Descontando los requerimientos del sistema de suelo para mantener sus contenidos de materia orgánica y la compleja red trófica de organismos, el rastrojo en exceso podría ser utilizado como materia prima para la generación de energía.

La energía contenida en los rastrojos, como toda la biomasa vegetal, proviene de la energía que almacenan los vegetales al realizar la fotosíntesis con el uso del agua y de los nutrientes del suelo para transformarlas en sustancias orgánicas complejas. La posibilidad de realizar un uso alternativo, sustentable y rentable de los rastrojos podría contribuir a promover la incorporación con mayor frecuencia de las gramíneas en las secuencias de rotaciones de cultivos. Promover rotaciones con mayor proporción de gramíneas, especialmente el maíz o el sorgo, tiene implicancias positivas sobre la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Estos cambios son particularmente deseables para la generalidad de la Región Pampeana, donde el monocultivo de soja es el sistema preponderante.

La extracción de residuos también tiene su impacto sobre el balance general de nutrientes de cada agroecosistema. Esto es particularmente crítico para los sistemas productivos argentinos, donde sólo considerando la

extracción de granos nos encontramos frente a una situación de desbalance entre lo repuesto y lo que se extrae. La discusión referente a la recolección y manejo de los rastrojos es muy amplia y compleja por la gran diversidad de escenarios edáficos, de eco-regiones y de sistemas productivos que se implementen en cada situación. Para poder realizar estimaciones que nos permitan evaluar escenarios alternativos, se pueden emplear modelos de balance similar a los desarrollados para el balance de carbono; a esto debemos agregar un término que considere la necesidad de cobertura. Este término debería estimar la cantidad de rastrojo que es necesario dejar en el lote para evitar pérdidas de agua, reducir los riesgos de erosión y como fuente de materia orgánica (MO en adelante). Estas necesidades variarán además con la región considerada.

En resumen los principales aspectos a atender en el uso de residuos agropecuarios son:

- ✓ Balance de carbono del suelo
- ✓ Control de la erosión hídrica y eólica
- ✓ Ciclo del agua
- ✓ Ciclo de los nutrientes y su reposición en el ciclo de rotación
- ✓ Interacción con factores edafoclimáticos

Mediante el empleo de modelos que contemplen los aspectos mencionados, sumando los diversos riesgos como las erosiones eólica e hídrica, se pueden llegar a establecer valores de retiro para cada planteo de rotación y diferentes agroecosistemas. Esto está llevándose a la práctica en Estados Unidos donde ya se cuentan con mapas zonificados de potencial de extracción.



Figura 6. Cosecha, acondicionado y transporte de residuos agropecuarios

Los residuos agropecuarios ya son usados en muchos países con una significativa contribución al aporte energético. Su empleo no está exento de una serie muy importante de consideraciones y cuidados que deben ser atendidos a fin de lograr que su uso sea sustentable en el tiempo. Entre dichas consideraciones resumimos a continuación las más importantes:

- El volumen que se genera de rastrojo es potencialmente atractivo para su empleo como biocombustible.
- Hay que considerar factores de variabilidad específica. Existe variabilidad en el volumen de producción y potencialmente en la calidad. Los factores que determinan esta variabilidad son la calidad del sitio (la zona o regiones de producción), el año (precipitaciones, temperatura), el manejo agronómico (SD, genética, fertilización, riego, etc.).
- Debe encararse una revisión exhaustiva y adaptación de los indicadores relacionados a la temática (IC, MO, balance de nutrientes, estructura, mineralización, etc.). Para algunas zonas será necesaria la adaptación y complementación de redes de ensayos.
- A pesar de que varios trabajos proponen la remoción directa de una proporción del rastrojo, esta práctica presenta riesgo e incertidumbre en términos de sustentabilidad (pérdida de cobertura, descenso de la materia orgánica, pérdida de la estabilidad estructural, aumento de los riesgos de erosión, pérdida de fertilidad química, etc.).
- Se deben explorar alternativas desarrolladas anteriormente en otros sistemas como por ejemplo la cosecha y aprovechamientos de marlos.
- Para una consolidación de estas prácticas es necesario una evaluación, adaptación y potencialmente desarrollo de maquinaria y equipamiento para la ejecución de procesos adaptados a nuestros sistemas productivos.
- Se debe seguir evaluando y profundizando permanentemente los balances energéticos, los costos de

oportunidad del uso de las fuentes alternativas y su relación coste/beneficio integral para cada etapa (recolección, logística, transformación y reincorporación al sistema).

Las tecnologías a emplear en la conversión final son muy diversas y la mayoría se encuentran maduras y con amplia expansión en el mundo. Cada una de ellas merece un análisis desde el punto de vista agronómico ya que en algunas, como la combustión, solo se podría reincorporar parte de los minerales por medio de las cenizas mientras que otras como la digestión anaeróbica plantea un sistema donde la materia orgánica se degrada y los efluentes tratados, conteniendo los macronutrientes en formas más asimilables para las plantas, y la materia orgánica remanente vuelven al sistema constituyendo lo que hoy en día se denomina como agricultura circular.

Indudablemente, esta temática se irá rápidamente incorporando a las discusiones técnicas del sector agropecuario ya que en el caso argentino se puede constituir en un importante actor en el suministro energético nacional. Para dar un ejemplo europeo, las plantas de biogás de Alemania aportan 3500 megavatios al sistema eléctrico con cerca de 8000 plantas instaladas. Para tener una idea de la magnitud, esto equivale a dos centrales hidroeléctricas como la recientemente iniciada en Santa Cruz, que demandará una inversión aproximada de 22000 millones de dólares. Para obtener la misma cantidad de energía por parte del sector agropecuario se deberían invertir 3500 millones, con la ventaja

de un enorme desarrollo regional, creación de empleo y riqueza en forma distribuida.

Conclusión

Los considerandos ambientales y las reglamentaciones nacionales e internacionales condicionarán y definirán de qué manera se desarrollará el mercado de todos los productos ligados a la bioenergía. Se requieren de profundos estudios para entender los complejos agroecosistemas y cómo la extracción y uso de biomasa puede afectarlos en el mediano y largo plazo.

El sector agropecuario será protagonista de una nueva revolución con la incorporación a un mercado no tradicional como el energético. Ya se ha avanzado mucho en biodiesel y bioetanol y ahora los acompañan otras formas como pellets y biogás. Tanto los productores, profesionales, investigadores y docentes deben prepararse para este nuevo escenario.

Referencias bibliográficas

FAO, Secretaría de Energía, INTA, SAGPyA y Secretaría de Ambiente y Desarrollo sustentable. 2008. Taller: Matriz de oferta y demanda de Bioenergía. Situación actual y desarrollo potencial en Argentina [Online]. Disponible: <http://inta.gob.ar/documentos/taller-matriz-de-oferta-y-demanda-de-bioenergia/>.

Camps M, Marcos F. 2008. Los biocombustibles, 2da. ed. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.

IICA- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 2010. Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel [Online]. Disponible:
<http://www.iica.int/Esp/organizacion/LTGC/agroenergia/Documentos%20Agroenergia%20y%20Biocombustibles/B1884e.pdf>.

Tomei J, Upham P. 2009. Argentinean soy-based biodiesel: An introduction to production and impacts. Disponible: www.elsevier.com/locate/enpol.

Sistema Integrado de Información Agropecuaria [Online]. Disponible: <http://www.siiia.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura>.

Hilbert J. A, Sbarra R, López Amorós M. 2012. Producción de biodiesel a partir de aceite de soja. Contexto y evolución reciente. INTA, Buenos Aires.

CEPAL. 2009. Biocombustibles y comercio internacional: una perspectiva Latinoamericana. [Online]. Disponible: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/1/36181/lcw247e.pdf>.

Hilbert J. A, Galbusera S. 2013. Análisis de Emisiones - Producción Biodiesel - AG-Energy. Estudio realizado por INTA para Viluco S.A. INTA, Santiago del Estero.

AVANCES TECNOLÓGICOS PARA APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO POR MEDIO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA (RESIDUOS AGROPECUARIOS Y URBANOS)

Gabriele Boccasile¹
DG Agricoltura
Región de Lombardía, Italia

Resumen

La digestión anaeróbica representa una oportunidad para la agricultura, la ganadería y el sector de los residuos orgánicos en general, siendo capaz de generar valor agregado y de constituirse en una valiosa herramienta para la gestión de los impactos ambientales y la sostenibilidad de la producción.

El digestato empleado como fertilizante puede proporcionar rendimientos iguales o superiores a los obtenidos con los fertilizantes químicos (urea) permitiendo reducir los costos de producción debidos a la fertilización.

Con su distribución en campo mediante enterramiento, es posible obtener un beneficio adicional al disminuir las emisiones de amoníaco en el aire, previniendo la formación de partículas finas (PM 2,5).

En su conjunto, no sólo es importante por la contribución de elementos en sustitución de fertilizantes sintéticos, sino también porque se cierra el ciclo del carbono y de los nutrientes y permite introducir el concepto de *fertilizantes renovables*.

La digestión anaeróbica también es capaz de reducir eficazmente los microorganismos patógenos y el impacto sobre los olores.

El manejo adecuado de estiércol por digestión anaeróbica puede reducir su contribución al efecto invernadero.

En relación a esta temática, se muestran los resultados de una investigación llevada a cabo en la región de Lombardía, Italia.

Palabras clave

Digestión anaeróbica, energía renovable, digestato, residuos, estiércol, fertilizantes renovables, nitratos, amoníaco, calidad del aire y el agua.

¹ Dipendente di ruolo presso la Regione Lombardia, titolare della Posizione Organizzativa presso la Direzione Agricoltura.

Introducción

Vivimos en una época caracterizada por fenómenos intensos y generalizados de la globalización, que día a día se expanden gradualmente más y más rápidamente, afectando a todos los sectores de la vida económica y social.

El proceso va acompañado de una paralela y análoga expansión de los medios de comunicación, en formas múltiples y diversas, así como también de una manera siempre más penetrante y accesible.

La agricultura y el sector rural no pueden quedar fuera de este contexto. Así como los tiempos y formas de la agricultura son muy diferentes y más lentos que en los sectores industriales y de servicios, también es cierto que por esta misma razón el sector primario se encuentra entre los más expuestos al *ciclón* de la globalización.

Respetando las tradiciones y el territorio, es necesario encontrar respuestas adaptativas que permitan al sector agrícola avanzar en paralelo con otros sectores económicos.

Los límites y características que son inherentes y típicos de los procesos biológicos naturales deben convertirse, en la medida de lo posible, en un punto de reinicio y de acoplamiento a la dinámica cada vez más acelerada de los otros sectores.

Desarrollo

Un ejemplo de esta posibilidad es el uso de procesos de digestión anaerobia en las actividades agrícolas y ganaderas ordinarias. Se debe comenzar a ver la digestión anaeróbica más allá de la mera producción de energía renovable, como un medio para alcanzar una ganadería económicamente competitiva y sostenible desde una

perspectiva ambiental. La biotecnología *natural* al servicio del agricultor y de la comunidad.

En la práctica, la adopción de este proceso permite al agricultor:

- Obtener un producto con elevado poder fertilizante, el "digestato", con características cualitativas mucho mejores que el estiércol de la cual proviene;
- Eliminar los costos relacionados con la eliminación del efluente, que de problema se convierte en una práctica agronómica eficaz y útil;
- Disponer de una herramienta competitiva en términos de costos, evitando la compra de fertilizantes minerales.

Sobre este tema, se muestran algunos datos y experiencias con digestión anaeróbica en Italia, que ahora es una realidad bastante consolidada y muy extendida, especialmente en la agricultura; solo en Lombardía hay 370 instalaciones agrícolas con una potencia total instalada de unos 268 MW eléctricos. El biogás agrícola tiene la ventaja de permitir la integración de los ingresos de la empresa agropecuaria. Solamente para Lombardía hay alrededor de 500 millones de euros de ingresos que llegan cada año a la empresa rural, la mayoría de ellos reinvertidos en las mismas granjas para mantener la competitividad e introducir la innovación. No menos importantes son los aspectos relacionados con el tratamiento del estiércol en términos de mejorar sus propiedades y transformarlo en fertilizante de efecto rápido y/o preparación para los tratamientos posteriores de eliminación de nitrógeno y fósforo (recuperación de nutrientes, tema central en la agenda de la UE). La confirmación de esto es el hecho de que, por ejemplo, en Lombardía, el digestor utiliza para su alimentación diaria más de 50 % de las aguas residuales (las estimaciones más

recientes son cercanas al 60%), relegando el uso de cultivos energéticos al 34% en peso (hacia abajo y con un uso cada vez mayor de la doble cosecha y cultivos *nofood/nofeed* como el Arundo Donax), que se traduce en menos del 4% de la SAU lombarda.

Mientras tanto, si bien por una parte el biogás ha crecido en términos de sostenibilidad y de integración con la producción primaria, por la otra, es un deber tener en cuenta todos los aspectos que se relacionan con el desarrollo del biogás: impacto sobre el sector agrícola, impacto ambiental y de calidad del digestato. Estos argumentos son en última instancia más que discutibles. Como contribución a la investigación científica y analítica, la región de Lombardía ha apoyado la discusión con diferentes trabajos, realizados desde 2006 con la colaboración de la Università degli Studi di Milano DISAA – Gruppo Ricicla y la participación de otros organismos del sistema regional (Fundación Minoprio, Agencia Regional de Servicios de Agricultura y Silvicultura - ERSAF, Asociación Regional de Criadores - ARAL, Instituto Experimental Zooprofilattico de Lombardía y Emilia Romagna IZLER).

En cuanto a la cuestión de sostenibilidad económica y ambiental, los datos mencionados anteriormente, referidos al contexto de la región de Lombardía, fueron recolectados y difundidos a través de los resultados del proyecto de investigación Ecobiogas (Adani et al., 2013). En el trabajo se han desarrollado, entre otras cosas, análisis del LCA (Life Cycle Assessment), que han evidenciado la reducción de los impactos producidos por el estiércol como resultado de la introducción de procesos de digestión anaerobia, en presencia de la correcta gestión del digestato para fines agrícolas.

Cabe mencionar que la oportunidad de producir energía, y por lo tanto ingresos adicionales, ha permitido al empresario invertir directamente en tecnologías

absolutamente innovadoras para la gestión adecuada y la reutilización sostenible de estiércol de ganado y, sobre todo, para la gestión de los excedentes de nitrógeno tanto en el balance de la empresa como en el territorial. Este aspecto es de fundamental importancia, ya que ha permitido a las empresas, en los últimos años, empeñarse con gran esfuerzo en la investigación y desarrollo de nuevas soluciones para la sostenibilidad ambiental y económica de la utilización de estiércol agronómico. Un ejemplo es una tecnología *made in Italy*, recientemente patentada: el proceso NFree®.

La planta, ya instalada en varias empresas de cría de animales, se basa en separaciones químicas y físicas (ultrafiltración y ósmosis inversa) de la fracción orgánica y minerales contenidos en el agua residual. Además de la separación sólido-liquido a través de centrifugas, la concentración de las sustancias en suspensión y disueltas permite purificar más del 50 % de las aguas residuales en bruto, llevándola a los estándares de idoneidad para su descarga en cuerpos de agua superficiales o el suelo. De los concentrados de ultrafiltración y ósmosis que corresponden a menos de un tercio del volumen inicial, el nitrógeno amoniacal es despojado y capturado en ácido sulfúrico para producir sulfato de amonio concentrado, un fertilizante comercial, y restar nitrógeno al balance de la empresa.

En diferentes trabajos (Schievano et al., TV, 29/30 2011 Orzi et al., 2012), se analizaron respectivamente el balance de masa del proceso NFree® aplicado a aguas residuales no tratadas de ganado bovino y un digestato proveniente de una planta de digestión anaerobia muy eficiente que trata efluente de cerdos. Los resultados han demostrado que, más allá de la digestión anaeróbica, el potencial de esta tecnología está creciendo considerablemente gracias a una fuerte reducción de los sólidos y de la mayor presencia de nitrógeno en forma

amoniaco. En particular, los resultados muestran una eliminación de nitrógeno total del balance de la empresa en el rango de 40-50% (en forma de sulfato de amonio comercial), en respuesta a la transformación de aproximadamente el 50-60% de las aguas residuales en agua purificada. Este es un ejemplo de las posibilidades de aplicar los métodos de "química verde" (green chemistry) directamente a nivel de empresa agrícola.

En paralelo, y de manera más general, los temas calidad del digestato y emisiones a la atmósfera procedentes de la agricultura se han investigado con el proyecto "NERØ" (Desarrollo de las mejores prácticas en el bajo nivel de emisiones a la atmósfera de la gestión y el uso agrícola de estiércol, Adani et al., 2013). Se ha demostrado cómo el uso de fracciones líquidas del digestato ricas en nitrógeno amoniacal permite una producción de maíz en segunda cosecha superior a los mismos fertilizados con urea, confirmando que el digestato sustituye completamente la fertilización química. Hay muchos otros ejemplos de pruebas realizadas a campo, incluyendo extranjeras, que dan testimonio del valor fertilizante de los digestatos y que sugieren la posibilidad de concebir una agricultura más sostenible, que verá en el futuro la reducción en lo posible del uso de fertilizantes químicos.

En este sentido, el Gruppo Ricicla – DISAA, durante el último par de años se ha convertido en el iniciador (también con la promoción de las marcas a nivel nacional y de la UE) del concepto de uso de *fertilizantes renovables* como una clave de valor agregado a los productos agrícolas que se generan. Es decir, productos agrícolas producidos **libres de fertilizantes químicos**, en una lógica de integrar la actividad de producción primaria con la de generación de energías renovables, junto también a la de fertilizantes renovables, promoviendo el cierre del ciclo de los elementos nutritivos y

su uso racional. Todo esto es importante a la luz del continuo aumento en el precio de las unidades fertilizantes (N, P y K) que se pueden observar a partir del año 1998 (los precios se cuadruplicaron) y por el hecho de que el continuo aumento del precio del petróleo y el agotamiento de las reservas de P y K determinarán, sin duda, un nuevo aumento de los costos para la obtención de tales abonos.

Obviamente, el uso agrícola del digestato como fertilizante no sólo debe tener en cuenta el simple aporte de elementos fertilizantes como un sustituto de los fertilizantes de síntesis, sino también la posibilidad de cerrar el ciclo del carbono y de los nutrientes que son la clave para la comprensión de una agricultura sostenible que muestra como factor central la recuperación de materiales como medio de sustento de la producción agrícola. La adquisición por parte del digestato de un status de "fertilizante" que pueda gozar de la confianza de los agricultores y del público pasa a través de un examen cuidadoso de las características químicas y biológicas del material, así como de las implicaciones ambientales relacionadas a su uso. En particular, una caracterización completa del digestato debe considerar los siguientes aspectos:

- Propiedades fertilizantes que justifiquen su uso;
- Impacto sobre la producción de olores;
- Aspectos higiénico-sanitarios;
- Emisiones a la atmósfera.

Las características "agro-químicas" del digestato, es decir, un alto contenido de nutrientes en formas fácilmente disponibles tales como NH_4^+ , H_3PO_4 y otras formas de P, K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} y SO_4^{-2} sugieren, en primer lugar, su uso como fertilizantes de rápido efecto en alternativa a los fertilizantes químicos tradicionales. La mayor disponibilidad de las formas

de nitrógeno presentes en el digestato, fruto de las complejas biotransformaciones que se producen durante el proceso biológico, lo configuran como un fertilizante nitrogenado de rápido efecto cuya eficiencia no difiere de los fertilizantes minerales convencionales sintéticos como la urea y el sulfato de amonio. No menos importante es la presencia de mesoelementos (Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} , etc.) y de oligoelementos en el digestato, que le confieren cualidades de fertilizante completo y equilibrado detrás del desarrollo de una agricultura más sostenible.

Con referencia al título en nitrógeno, con el fin de definir al digestato como un abono nitrogenado comparable a uno de síntesis, y por lo tanto libremente utilizable en *balance de nitrógeno*, se interpreta que el contenido de nitrógeno amoniacal en el digestato o sus fracciones no debe ser inferior a 70 – 80 % del N total. De hecho, mientras mayor es la presencia de nitrógeno orgánico y no amoniacal en el digestato, tanto más se configura éste como un fertilizante nitrogenado de liberación lenta (fertilizante nitrogenado orgánico no mineral). Un objetivo de este tipo sólo se puede alcanzar a través de la digestión anaeróbica de estiércol y otras matrices orgánicas, seguida de una separación sólido-líquido, almacenamiento en tanques cerrados y su uso posterior por inyección o entierro inmediato. En estas condiciones se obtienen dos productos que asumen diferente significado en términos de valor fertilizante:

1. La fracción líquida con un alto valor nutritivo, que contiene los nutrientes en forma mineral, NH_4^+ , H_3PO_4 y otras formas de P, K, Ca, Mg y SO_4^{-2} , es similar a un fertilizante mineral en solución acuosa en el cual la presencia incluso de oligoelementos le confiere integridad nutricional. La fracción líquida presenta un alto contenido de nitrógeno amoniacal (>

70 %) y una relación de N/P elevada. Estas características permiten la utilización de tal fracción con una total equivalencia y capacidad de sustitución de los fertilizantes de nitrógeno mineral, consistiendo al mismo tiempo el aporte de P y K en las relaciones requeridas por la planta, además de una serie de oligoelementos.

2. La fracción sólida, que tiene buenas propiedades remediadoras, es de gran utilidad para restaurar el equilibrio de suelos orgánicos (principalmente de los suelos italianos, y particularmente en la llanura del Po, que han perdido en los últimos 50-60 años alrededor del 50 % del contenido total de materia orgánica). Además, esta fracción presenta grados de pureza superiores a la de los compost.

A continuación, y a título de ejemplo, se muestra el resumen del primer ciclo de experimentaciones del Proyecto Nerø, ejecutado en la campaña agrícola 2011/2012 y desarrollado a pleno con pruebas de campo: básicamente consistió en la realización de pruebas de sustitución del fertilizante mineral (urea) con este digestato y su líquido separado.

Las pruebas se llevaron a cabo en dos granjas de la llanura lombarda ubicadas en las provincias de Brescia (empresa A) y Lodi (empresa B). Ambas explotaciones agropecuarias han sido identificadas en el ámbito de aquellas realidades productivas que se han especializado en la producción de energía renovable mediante el proceso de digestión anaerobia.

En cada explotación las pruebas se llevaron a cabo sobre maíz de segunda cosecha (en sucesión a un cereal de otoño-invierno) destinado a la producción de picado integral

para la alimentación de la planta de biogás. Las pruebas se llevaron a cabo con la siguiente metodología experimental:

El diseño experimental estuvo constituido por cuatro pruebas de fertilización diferentes, repetidas por duplicado. Además, junto a la zona de experimentación real, se definió un área, llamada por comodidad *parcellone*, utilizada exclusivamente para llevar a cabo pruebas aerodinámicas de emisión de amoníaco para el control de emisiones de las parcelas de menor superficie. Las operaciones de fertilización se llevaron a cabo en pre-siembra y en cobertura al maíz (DKC 6903, FAO 700) con diferentes materiales y técnicas de propagación en función de las varias pruebas en comparación.

Las fertilizaciones se llevaron a cabo teniendo en cuenta el contenido de nitrógeno total del material, a fin de hacer una fertilización homogénea, excluyendo la parcela de referencia. La incorporación directa del digestato se realizó sólo en la granja A, tanto en pre-siembra como en cobertura, utilizando un tractor equipado con 8 rejas capaces de garantizar la cobertura de las aguas residuales a aproximadamente 10 cm de profundidad (Claas Xerion 3800VC, acoplado al equipo Mainardi).

En la granja B, el digestato solamente se distribuyó en pre-siembra, esparciéndolo superficialmente con un plato desviador y enterramiento con una rastra combinada con un procesamiento mínimo.

Los resultados obtenidos en la producción de picado en las diferentes parcelas tratadas con las diferentes pruebas de fertilización en el primer año de experimentación, y teniendo en cuenta que la temporada 2012 se ha caracterizado por una alta sequía, parecen muy interesantes.

Como era de esperar, en ambas explotaciones agrícolas involucradas, las parcelas de tierra sin tratamiento tienen rendimientos más bajos con respecto a las que sí fueron fertilizadas.

Las diferencias obtenidas entre las pruebas no son grandes, lo que estaría indicando que el maíz sin fertilizar se ha beneficiado de la fertilidad residual del suelo en el inicio del primer año de experimentación. Lo más probable es que haya un aumento de las diferencias a medida que pasa el tiempo, a raíz de la atenuación del llamado *efecto memoria* de las fertilizaciones anteriores. Las mayores diferencias de producción se destacan en la granja B, donde la prueba T4 (digestato incorporado tal cual), con elevado contenido de nitrógeno amoniacal, ha producido una mayor cantidad de biomasa en comparación con las otras dos pruebas tratadas con urea y digestato en superficie (T3 y T2).

Para la granja A, la falta de diferencias estadísticamente significativas se puede atribuir, además de la sequía estacional, a la falta de homogeneidad de riego que ha creado desviaciones en el desarrollo del cultivo. A pesar de esto, los valores medios obtenidos parecen indicar que el digestato, si se usa antes de la siembra y cobertura con técnicas de inyección o incorporación inmediata, puede sustituir completamente el fertilizante mineral con urea (ensayo T3).

La digestión anaeróbica, debido a que es una biotecnología capaz de mineralizar nitrógeno bajo condiciones controladas transformándolo en un fertilizante de efecto rápido, puede ser potencialmente responsable de emisiones de amoníaco a la atmósfera. En este contexto, el modo de aplicación de fertilizantes se convierte en fundamental para limitar los efectos negativos sobre el medio ambiente (acidificación del suelo y eutrofización), la salud (formación de partículas finas) y la pérdida de nutrientes para los cultivos.

La experimentación ha mostrado que las emisiones amoniacales provenientes de la incorporación inmediata (ensayo T4) son claramente inferiores a las producidas por la utilización superficial del digestato sin incorporación (ensayo

T2). Los primeros resultados también ponen en evidencia la ventaja en el uso virtuoso del digestato incluso con respecto a la urea. Por otra parte, es posible observar que el uso del digestato por inyección o incorporación reduce potencialmente el 90 % de las emisiones de amoníaco respecto al uso superficial (de acuerdo a lo encontrado en la literatura reciente).

Parte del programa de investigación del Proyecto Nerø tenía el objetivo de evidenciar la ventaja efectiva, en términos de molestias olfativas, derivada del uso del digestato con respecto al efluente tal cual obtenido. En paralelo al análisis agronómico también se llevaron a cabo pruebas odorimétricas.

La digestión anaeróbica resultante de la degradación de la sustancia orgánica fermentable es capaz de reducir la molestia olfativa del digestato respecto al residuo a partir del cual es producido. Es decir, hay una fuerte reducción del impacto odorígeno, que resulta ventajosa al momento de la implementación a campo.

A tal fin, las mediciones de odorimetría se llevaron a cabo tanto a campo abierto, durante las pruebas de distribución del material fertilizante descrito, como en el laboratorio, con las mismas matrices utilizadas, confrontándolas con las del efluente bovino. La odorimetría es una medida del olor y consiste en suministrar a un grupo de personas seleccionadas diversas diluciones del aire caracterizado con el olor, con el objetivo de determinar la sensación resultante (siente o no siente olor). La dilución que implica la ausencia de olor representa la Unidad Odorimétrica (UO). Entonces, contrariamente al análisis químico, la odorimetría no proporciona la identificación de una sustancia o de un grupo de sustancias, sino la “unidad de olor” de la mezcla gaseosa, o la molestia olfativa.

El método de medición de las emisiones olfativas utilizado refiere a los manuales y lineamientos de la Agencia

Italiana para la Protección del Ambiente y Servicios Técnicos, la cual remite a su vez a la metodología oficial europea (EN 13725).

Los resultados de las mediciones de laboratorio de la unidad odorimétrica para las matrices han mostrado, confirmando las expectativas, que la digestión anaeróbica es capaz de reducir los olores con respecto al efluente original.

La diferencia evidenciada en el laboratorio se refleja entonces en la molestia olfativa en la fertilización a campo abierto. En particular, tal como se esperaba, los resultados mostraron cómo el uso del digestato, especialmente seguido de incorporación, reduce drásticamente los olores percibidos y por lo tanto la molestia olfativa.

Durante 2013 se continuaron las pruebas de investigación agronómica y se aumentaron los esfuerzos para adquirir elementos de conocimiento y evaluación relativos al impacto odorígeno y a la calidad microbiológica de los digestatos, con el desarrollo de investigaciones posteriores, y de análisis complementarios.

Para la investigación analítica fueron puestas en consideración diez instalaciones de digestión anaeróbica diferenciadas por potencia, tipo de alimentación, tiempo de retención y modalidad de proceso. En una primera etapa de la investigación, cinco de estas instalaciones fueron sometidas sólo al muestreo de las matrices alimentada y digerida. En una fase posterior, en las cinco instalaciones restantes se consideraron también los tanques de almacenamiento y los separados sólido y líquido.

Muestras de la alimentación, del digestato, digestato en el tanque de almacenamiento, y de los separados líquidos y sólidos fueron caracterizados por:

- Parámetros fisicoquímicos (materia seca, sólidos volátiles, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, ácidos

grasos volátiles, alcalinidad), de acuerdo a las metodologías comunes.

- Impacto odorígeno, de acuerdo a la metodología EN 13725.
- Contenido de patógenos, siguiendo el protocolo analítico del Instituto Zooprofiláctico Experimental de la Lombardia y de la Emilia-Romagna “Bruno Ubertini”, sección Brescia.

La literatura científica reporta cómo durante la digestión anaeróbica, luego de la degradación de la fracción orgánica más degradable, se observa una reducción en la producción de moléculas odoríferas (Wilke, 2005) con una reducción del olor producido aproximadamente entre 85 – 97 % respecto a la alimentación (Wilke 2005, Ubeda et al. 2010). Para validar las mediciones realizadas, en el laboratorio, la tasa de emisión odorígena de las muestras de biomasa se evalúa de acuerdo al sistema reportado por Apat (2003), y analizado posteriormente por medio de odorimetría dinámica con el método estándar de la UE (EN 13725).

Se observaron valores elevados de olor (valores elevados de Unidad Odorimétrica, UO) para todas las alimentaciones y particularmente en las instalaciones donde la mezcla de alimentación está compuesta tanto de biomasa agrícola y subproductos agroalimentarios como de efluentes. Luego de la digestión anaeróbica, el impacto odorígeno baja notablemente, y la explicación sencilla de ello consiste en el hecho de que el proceso biológico degrada ciertas moléculas orgánicas reduciendo también el potencial odorígeno de los digestatos.

De acuerdo con algunos autores (Hansen et al. 2006, Hjorth et al. 2008), existe una correlación entre la producción de olores y la concentración de ácidos grasos volátiles, utilizados como parámetro para la determinación de la estabilidad biológica de la biomasa. El análisis estadístico

realizado sobre los datos producidos en el trabajo ha confirmado la estrecha correlación positiva entre estos parámetros ($r = 0,96$; $p < 0,001$; $n = 28$).

La medición directa del grado de estabilidad biológica de las muestras estudiadas, por medio de la medición del consumo de oxígeno de la biomasa, y su comparación con los datos odorimétricos ($r = 0.85$, $p < 0.001$; $n = 28$), reafirman cómo a través de la digestión anaeróbica, como resultado de la degradación de las sustancias orgánicas contenidas, se adquiere estabilidad biológica, disminuyendo fuertemente el potencial odorígeno. Es posible concluir entonces que la digestión anaeróbica reduce fuertemente el impacto odorígeno como consecuencia del incremento del grado de estabilidad biológica.

En referencia a los efectos de la digestión anaeróbica sobre la carga microbiológica, es posible establecer algunos puntos fuertes: la literatura internacional (Sahlström 2003, Horan et al. 2004, Smith et al. 2005, Skillman et al. 2009, Massé et al. 2011) acuerda en afirmar que la digestión anaeróbica reduce la carga patógena total. Dicho efecto puede atribuirse a la acción de la temperatura (sobre todo debido a los procesos termófilos), a la acción bactericida y bacteriostática del amoníaco producido durante el proceso, a valores elevados de pH, a la presencia de concentraciones elevadas de ácidos grasos, los cuales resultan tóxicos para las bacterias, sobretodo en la forma no disociada, a la competencia microbiana específica y, no menos importante, a procesos de degradación con la consecuente adquisición de elevados grados de estabilidad biológica y sustracción de nutrientes a los patógenos.

Si está claro que la digestión anaeróbica mejora el grado higiénico-sanitario de los digestatos, queda también claro que dicha mejora no representa un proceso de pasteurización y/o esterilización capaz de **eliminar el contenido de patógenos**.

Los resultados de los análisis microbiológicos conducidos durante esta investigación en el Instituto Zooprofiláctico Experimental de la Lombardía y de la Emilia-Romagna “Bruno Ubertini”, sección Brescia, han confirmado sustancialmente los conocimientos reportados en la literatura.

Para los microorganismos identificados en la familia Entero-bacteriaceae (Salmonella, Coliformi fecali, Escherichia coli, Enterobacteriaceae y Yersinia enterocolitica) se observa una disminución posterior al tratamiento anaeróbico. En particular, el número de Coliformi fecali, Escherichia coli y Enterobacteriaceae sufre una notable disminución en el digestato respecto a la mezcla de alimentación, llevando en algunos casos a una completa desaparición. Por otro lado, se observa un sucesivo incremento en el separado líquido. Tal aspecto debe seguir siendo investigado debido a que frecuentemente los recipientes de almacenamiento reciben también otros efluentes y residuos agrícolas no digeridos. Tanto la Salmonella como la Yersinia enterocolitica se encuentran menos frecuentemente en el digestato. De hecho, son identificadas sólo en los digestatos de algunas instalaciones. La Salmonella resulta estar siempre ausente luego de la separación sólido/líquido, aunque en algunos casos sí se ha dado la recurrencia de la Yersinia enterocolitica en el separado líquido de los digestatos. La digestión anaeróbica es también eficaz en la eliminación de Streptococcus fecalis, el cual ha estado menos presente luego de la digestión anaeróbica en todas las instalaciones consideradas.

Se observa menor eficacia de la digestión anaeróbica en el caso de la Listeria, que habiéndose encontrado sólo en tres instalaciones, parece ser capaz de sobrevivir en condiciones anaeróbicas. Por otra parte, no se demuestra su presencia luego de la separación sólido/líquido. Otros patógenos son capaces de sobrevivir a la digestión anaeróbica, tal como se

ha reportado en la literatura. Los Clostridium, sobre los cuales se pone mucha atención, resultan ser resistentes.

El trabajo también parece confirmar lo siguiente: el Clostridium perfringens muestra una tendencia contradictoria, por momentos disminuye luego de la digestión anaeróbica para entonces aumentar en los separados sólidos y líquidos. De todas maneras, en la totalidad de los diez casos examinados, el contenido en los digestatos y derivados no es superior al de las alimentaciones, desmintiendo de hecho algunas voces según las cuales la digestión anaeróbica sería responsable de la proliferación de Clostridium.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman el rol de la digestión anaeróbica como medio eficaz para contener el impacto odorígeno. Esta información concuerda con trabajos precedentes publicados por UniMi – DiProVe – Gruppo Ricicla (Orzi et al. 2010) que indicaban una reducción de las emisiones odorígenas producidas por los residuos urbanos y otras matrices orgánicas luego de la digestión anaeróbica.

De la misma manera, en cuanto al aspecto higiénico sanitario (contenido de patógenos), se puede decir de acuerdo a la literatura internacional, que la digestión anaeróbica mejora el estado sanitario de la alimentación.

Con respecto a la familia *Clostridium*, los resultados indican una sustancial neutralidad del proceso de acuerdo a la literatura internacional, aunque sea evidente una tendencia a la disminución luego de la digestión. De todas formas es interesante observar que los compost comerciales presentan contenidos de Clostridium similares o superiores a los digestatos.

Los resultados obtenidos en el trabajo desarrollado, al menos sobre la base de los datos aquí presentados y de la literatura internacional, demuestran que no existe un aumento del contenido de los patógenos estudiados durante la digestión anaeróbica, sino que frecuentemente dicho

contenido disminuye.

Entonces, más allá de los aspectos netamente económicos, existe otro motivo de gran importancia que sugiere la implementación de la técnica de digestión anaeróbica: la posibilidad de asegurar la compatibilidad ambiental de las actividades agrícolas y zootécnicas. La atención sobre el ambiente es máxima a nivel social y el sector agrícola no puede permanecer al margen. Sobre todo, no puede permanecer estático ni tampoco imaginarse la reivindicación de algunos aspectos de su "diversidad".

El debate entre producción y ambiente se muestra inevitable. Más aún, en un contexto ambiental particular como el observado en la región de la Lombardía y la llanura del Valle del Po, caracterizado por una elevada densidad poblacional y actividad económica, entre las cuales, claro está, se encuentran las de cría de animales (bovinos, cerdos y aves). La técnica de digestión anaeróbica representa entonces un instrumento apropiado para intentar dar una respuesta sostenible a la producción animal intensiva, ya que es capaz de crear valor agregado a las empresas agrícolas (ingresos extra a través de la producción de energía) a partir de efluentes, subproductos y productos, con la posibilidad de una rentabilidad marginal, y garantizando al mismo tiempo los actualmente imprescindibles estándares de cuidado del medio ambiente.

Eficiencia e innovación basadas en una constante actualización del sector agrícola, que tome en cuenta el respeto por los parámetros ambientales como factor de desarrollo.

Parece razonable seguir un camino hoy posible y virtuoso que, a través de un proceso de digestión anaeróbica bien conducido en el tiempo y en su modalidad, lleve el efluente digerido a un contenido de nitrógeno amoniacal del 70%, igualándolo, bajo el perfil del empleo sustancial, a los

efectos de un fertilizante mineral. Tal curso de acción, más allá del aspecto cuantitativo (% de N en forma mineral) ligado a la bondad del proceso de conversión, predice y facilita también un importante aspecto cualitativo con un importante rol desde la innovación, referido a la gestión integral del efluente: a partir del envío inmediato al digestor al momento de la producción, pasando a través de la cubierta de los depósitos finales del digestato logrando una distribución acorde a los requerimientos agronómicos de los cultivos. Con una sincronización apropiada y efectuada reduciendo al mínimo las pérdidas a la atmósfera. En otras palabras, una gestión eficiente (80/90%) en la utilización del digestato, cuidando los impactos ambientales y económicamente ventajosa para la rentabilidad de la empresa agrícola.

A este propósito, se debe resaltar que en lo referente a la calidad del agua (cuestión "nitratos") la corresponsabilidad del problema puede ser subdividida en al menos tres sectores (agrícola, municipal e industrial), pero no así en cuanto a la calidad del aire, donde las emisiones de amoníaco provienen casi exclusivamente de la actividad zootécnica (90%); y, sobretodo, es necesario considerar que sobre este argumento la atención de la opinión pública es elevada, constante y particularmente sensible, más allá de cualquier consideración ideológica y/o intereses de parte, tratándose de cuestiones sanitarias y, sobre todo, que requieren respuestas concretas e inmediatas.

No se debe olvidar el contexto en el cual se desarrolla este fenómeno: la cuenca del Po, básicamente un gran "recipiente" en forma de cuenco donde, debido a la particular orografía, los vientos son débiles y no muy frecuentes, por lo que la contaminación tiende entonces a estancarse, sobre todo durante el invierno, caracterizado además por fenómenos extendidos de inversión térmica que contribuyen a retener los contaminantes en el suelo, impidiendo así su dispersión.

Todos los sectores deben entonces perseguir cada marginalidad posible de mejoramiento, a partir de los reportes de costo/beneficio elevados. Es decir, sin tomar en cuenta sólo los valores altos, sino sobre todo los muchos y pequeños mejoramientos, en otras palabras, el concepto de *utilidad marginal*.

Conclusiones

Dado todo lo expuesto, aparece como evidente que para el sector agropecuario (en particular para la ganadería), la cuestión de la calidad del aire será en el futuro un debate imprescindible y constante (programas regionales de intervención por la calidad del aire), más allá de la cuestión “nitratos”. En la Lombardía por ejemplo, el 30% del material particulado es atribuido (fuente: ARPA²) a origen secundario (recombinación de moléculas a base de amoníaco y óxidos de nitrógeno), mientras los datos de la bibliografía internacional atribuyen al amoníaco de proveniencia zootécnica el origen del PM 2,5, con porcentajes que van del 5 al 11%. En lo referente al recipiente de almacenamiento (diámetro medio de 26 m), se estiman emisiones medias de amoníaco del orden de 2 t/año (el dato puede ser muy variable, en base a las dimensiones y en función de los parámetros de contorno como la temperatura, pH, velocidad del viento).

Parece entonces deseable que, desde una visión general, el mundo agrícola y la agroindustria acepten los nuevos retos de manera conjunta, activa, responsable y comprometida. La posibilidad de que el medioambiente visto como un “límite” se transforme en una oportunidad para crear valor agregado es concreta, económica y técnicamente factible. La digestión anaeróbica, con la posibilidad de activar mecanismos virtuosos en diferentes niveles y con múltiples

consecuencias positivas, aparece como un ejemplo de eficiencia e innovación actualmente al alcance de los agricultores y de la industria de transformación agroalimentaria.

Ignorar la importancia de la sostenibilidad ambiental de los procesos agrícolas, y en particular de su percepción por parte de los ciudadanos y las diferentes categorías productivas, podría correr el riesgo de transformarse de una mera banalidad en un perjuicio incluso económico a partir de la pérdida o reducción de aportes europeos comunitarios (PAC³, PSR⁴), o de las posibles multas por parte de la Unión Europea, que finalmente desemboquen en mayores costos para los procesos productivos comunes, así como en una menor rentabilidad.

Sobretudo mostraría una muy mala imagen frente a una opinión pública mundial siempre muy atenta a la temática de sostenibilidad de la actividad productiva, y de manera muy particular a la de calidad del ambiente.

Es difícil imaginar para el futuro una producción de calidad en el sector alimenticio que no esté acompañada por el respeto al medioambiente.

El mismo concepto vale para cada tipo de residuo o efluente en general, incluyendo los residuos urbanos.

En el futuro se vislumbran la eficiencia de los procesos, la lucha contra el despilfarro, la recuperación de materia y energía desde los subproductos, etc., como elementos imprescindibles de la producción.

En los aspectos mediáticos de la comunicación se jugarán muchos de los desafíos globales, además de en los clásicos costos de producción.

Y también bajo este perfil “económico” la digestión anaeróbica se presenta como un buen instrumento para

² Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

³ Política Agrícola Común

⁴ Programmi di Sviluppo Rurale (Programas de Desarrollo Rural)

reconsiderar de manera útil y práctica gestiones que hasta ahora han considerado la acumulación de subproductos y desechos como consecuencia inevitable de la creación de productos intermedios y comerciales.

Superando el concepto de “residuo como costo”, más allá de generar energía, la digestión anaeróbica se presta a ser la base de la joven industria de la “química verde (denominada *bio-refinería*), gracias a la producción de matrices renovables recuperadas de residuos y subproductos de diversos procesos de transformación, y se muestra además como una industria expandida en el territorio y cercana, a nivel mundial, a las formas simples y deslocalizadas de producción, como las agrícolas y agroindustriales, y comprendiendo también las de tratamiento del agua y de los residuos urbanos.

Un cambio de mentalidad que, incluso antes del respeto por los tanto importantes como abstractos valores ambientales, es un deber ético para las discusiones de las futuras generaciones.

Referencias bibliográficas

Sommariva. 2009. Uso razionale dei reflui senza aggravio di costi. L'Informatore Agrario, 46/2009.

Schievano et al. 2011. Terra e Vita, 29/30/2011.

Adani et al. 2012. La digestione anaerobica fa bene all'ambiente, Terra e Vita 8/2012.

Orzi et al. 2012. Dalla digestione anaerobica fertilizzanti davvero rinnovabili, Terra e Vita 30/2012.

Adani. 2013. Digestato come fertilizzante, la sfida della sostenibilità, Terra e Vita 6/2013.

Boccasile G. 2013. La difesa dell'ambiente, una opportunità per l'agricoltura, Terra e Vita 6/2013.

Riva et al. 2013. L'uso del digestato in campo sostituisce i concimi chimici. L'Informatore Agrario, 9/2013.

D'Imporzano. 2013. L'aflatossina non frena il biogas, Terra e Vita 18/2013.

Orzi et al. 2014. La digestione anaerobica riduce patogeni e odori, Terra e Vita 8/2014.

SFRUTTAMENTO ENERGETICO DEI RESIDUI ORGANICI AGRICOLI ED URBANI - PROGRESSI TECNOLOGICI NEI PROCESSI DI DIGESTIONE ANAEROBICA

Gabriele Boccasile⁵

DG Agricoltora

Regione Lombardia, Italia

Riassunto

La digestione anaerobica rappresenta un'opportunità per l'agricoltura, la zootecnia e il settore dei residui organici in genere, in grado di creare valore aggiunto come valido strumento per gestire gli impatti ambientali e la sostenibilità delle produzioni.

Il digestato impiegato come fertilizzante è in grado di fornire rese in linea, se non superiori, rispetto a quelle ottenute con i fertilizzanti chimici (urea), permettendo così di ridurre i costi di produzione dovuti alla fertilizzazione. Con la sua distribuzione mediante interrimento durante il suo apporto in campo, è possibile ottenere l'ulteriore beneficio di diminuire le emissioni di ammoniaca nell'aria, prevenendo la formazione di

particolato sottile (PM 2,5).

Nel suo complesso è importante non solo per l'apporto di elementi in sostituzione dei concimi di sintesi, ma anche perché chiude il ciclo del carbonio e dei nutrienti. Rende possibile introdurre il concetto di "fertilizzante rinnovabile".

La digestione anaerobica è anche in grado di ridurre in maniera efficace microorganismi patogeni e impatto odorigeno.

Una corretta gestione degli effluenti di allevamento tramite digestione anaerobica è in grado di ridurre il loro apporto di gas climalteranti.

Sull'argomento vengono illustrati i risultati di alcune ricerche svolte in Regione Lombardia.

⁵ Dipendente di ruolo presso la Regione Lombardia, titolare della Posizione Organizzativa presso la Direzione Agricoltura.

Parole chiave

Digestión anaeróbica, energía renovable, digestato, residuos, estiércol, fertilizantes renovables, nitratos, amoníaco, calidad del aire y las aguas

Introduzione

Viviamo in un'epoca caratterizzata da intensi ed estesi fenomeni di "globalizzazione" che, di giorno in giorno, si espandono via via di più e sempre più velocemente, interessando ogni settore della vita economica e sociale.

Il processo è accompagnato da una parallela, analoga espansione della comunicazione mediatica, in forme plurime e variamente diversificate, oltre che sempre più pervasive e accessibili.

L'agricoltura e il settore rurale non possono chiamarsi fuori da questo contesto.

Se è vero, come è vero, che le modalità e i tempi dell'attività agricola sono profondamente diversi e più lenti rispetto ai comparti dell'industria e dei servizi, è altrettanto vero che proprio per questo stesso motivo il settore primario è tra i più esposti al "ciclone" della globalizzazione.

Nel rispetto delle tradizioni e del territorio è necessario trovare risposte "adattative" che permettano al comparto agricolo di stare al passo e avanzare parallelamente agli altri settori economici.

I limiti e le caratteristiche che sono insiti e tipiche nei naturali processi biologici devono diventare, per quanto possibile, un punto di ripartenza e di aggancio alle dinamiche sempre più accelerate degli altri comparti.

Svilupo

Un esempio di questa possibilità è rappresentato dall'impiego dei processi di digestione anaerobica nelle ordinarie attività zootecniche e agricole. La digestione anaerobica vista quindi ben oltre la sola produzione di energia rinnovabile, quale strumento di una zootecnia competitiva a livello economico e sostenibile dal punto di vista ambientale, una biotecnologia "naturale" al servizio dell'agricoltore e della comunità.

Nella pratica, l'adozione di questo processo consente all'imprenditore agricolo di:

- ottenere un prodotto ad elevato potere fertilizzante, il "digestato", con caratteristiche qualitative decisamente migliori rispetto all'effluente zootecnico da cui proviene;
- eliminare i costi relativi allo "smaltimento" dell'effluente, che da "problema" si trasforma in un'efficace e utile pratica agronomica;
- disporre di uno strumento concorrenziale in fatto di costi, evitando l'acquisto di fertilizzanti minerali.

Su questo argomento, si riportano di seguito alcuni dati ed esperienze sulla digestione anaerobica in Italia, che è ormai una realtà abbastanza consolidata e diffusa soprattutto in ambito agricolo; nella sola Lombardia si contano 370 impianti “agricoli” per una potenza totale installata di circa 268 Mw elettrici. Il biogas agricolo ha il pregio di consentire un’integrazione del reddito dell’azienda. Per la sola Lombardia sono circa 500 milioni di euro i ricavi che ogni anno arrivano alle aziende agricole, la maggior parte di essi reinvestiti nelle stesse aziende agricole per mantenere competitività e introdurre innovazione. Non meno importanti risultano gli aspetti legati al trattamento dei reflui zootecnici in termini di miglioramento delle loro caratteristiche e di trasformazione in fertilizzanti a “pronto effetto” e/o di predisposizione ai successivi trattamenti di rimozione dell’azoto e del fosforo (recupero dei nutrienti che è anche al centro dell’agenda EU). Conferma di ciò è il fatto che, ad esempio in Lombardia, il digestore ricorre, per la sua alimentazione giornaliera, a più del 50% di refluo (le più recenti stime si avvicinano al 60%), relegando l’uso della coltura energetica al 34% in peso (in calo e con un sempre maggior ricorso al doppio raccolto e a colture nofood/nofeed come *Arundo Donax*) che si traduce in meno del 4% della SAU lombarda. Se da una parte, quindi, il biogas si è sviluppato in termini di sostenibilità e di integrazione con le produzioni primarie, dall’altra è d’obbligo considerare tutti gli aspetti che si relazionano con lo sviluppo del biogas: impatto sulla filiera agricola, impatto ambientale e qualità del digestato. Tali argomenti sono ultimamente assai dibattuti.

Quale contributo all’approccio scientifico e all’indagine

analitica, Regione Lombardia ha supportato la discussione con diversi lavori, realizzati a partire dal 2006 con la collaborazione dell’Università degli Studi di Milano DISAA-Gruppo Ricicla e la partecipazione di altri Enti del sistema regionale (Fondazione Minoprio, Ente Regionale Servizi Agricoltura e Foreste – ERSAF, Associazione Regionale Allevatori – ARAL, Istituto Zooprofilattico Sperimentale Lombardia e Emilia Romagna IZLER.

Per quanto riguarda il tema della sostenibilità economica e ambientale, i dati sopra richiamati, riferiti al contesto della regione Lombardia, sono stati acquisiti e divulgati attraverso i risultati del progetto di ricerca Ecobiogas (Adani et al., 2013). Nel lavoro sono state tra l’altro sviluppate analisi di LCA (Life Cycle Assessment) che hanno evidenziato la riduzione degli impatti derivanti dagli effluenti zootecnici a seguito dell’introduzione di processi di digestione anaerobica, in presenza di una corretta gestione del digestato a fini agronomici.

Per inciso va detto che l’opportunità di produrre energia e dunque reddito aggiuntivo ha permesso direttamente all’imprenditore di investire in tecnologie assolutamente innovative per la corretta gestione e riutilizzo sostenibile dell’effluente di allevamento e, soprattutto, per la gestione dell’eventuale surplus di azoto nel bilancio aziendale o territoriale. Questo aspetto è di fondamentale importanza, in quanto ha permesso alle aziende, negli scorsi anni, di impegnarsi in un forte sforzo di ricerca e sviluppo di nuove

soluzioni per la sostenibilità ambientale ed economica dell'uso agronomico degli effluenti di allevamento. Ne è un esempio la tecnologia rigorosamente made in Italy, di recente brevettazione: il processo N-Free®. L'impianto, già installato in varie realtà zootecniche, si basa su separazioni chimico-fisiche (ultrafiltrazione e osmosi inversa) delle frazioni organiche e minerali contenute nel refluo. A valle della separazione solido-liquido tramite centrifughe, la concentrazione delle sostanze sospese e disciolte permette di purificare oltre il 50% del refluo iniziale, portandolo agli standard di idoneità per lo scarico in corpo idrico superficiale o suolo. Dai concentrati di ultrafiltrazione e osmosi che corrispondono a meno di un terzo del volume iniziale, l'azoto ammoniacale viene strappato e catturato in acido solforico, per produrre solfato ammonico concentrato, un fertilizzante commerciale, e sottrarre azoto al bilancio aziendale.

Con diversi lavori (Schievano et al., TV, 29/30 2011, Orzi et al., 2012), si è analizzato rispettivamente, il bilancio di massa del processo N-Free® applicato ad un refluo bovino non trattato e di un digestato proveniente da un impianto di digestione anaerobica molto efficiente, che tratta effluente suino. I risultati hanno dimostrato che, a valle della digestione anaerobica, le potenzialità di questa tecnologia crescono notevolmente, grazie alla forte riduzione dei solidi e della maggior presenza di azoto in forma ammoniacale. In particolare i risultati mettono in evidenza una rimozione di azoto totale dal bilancio aziendale nel range 40- 50% (sotto forma di solfato ammonico commerciale), a fronte della trasformazione di circa il 50-60% del refluo in acqua purificata).

Si tratta di un esempio delle possibilità di applicare metodi di "chimica verde" (green chemistry) direttamente al livello di aziende agricole.

In parallelo e più in generale, i temi della qualità dei digestati e delle emissioni in atmosfera delle attività agricole sono stati indagati con il progetto "NERØ" (Messa a punto di best practice a ridotte emissioni in atmosfera per la gestione e l'utilizzo agronomico di reflui zootecnici, Adani et al., 2013). È stato dimostrato come l'uso di frazioni liquide di digestato ricche in azoto ammoniacale, permettono produzioni di mais in secondo raccolto superiori alle tesi concimate con urea, di fatto confermando come il digestato sostituisca completamente la fertilizzazione chimica. Molti altri sono gli esempi di sperimentazioni di pieno campo, anche straniere, che testimoniano il valore fertilizzante dei digestati e che suggeriscono la possibilità di concepire un'agricoltura più sostenibile che vede, in futuro, la riduzione, per quanto possibile, dell'uso dei concimi chimici. In tale solco, -Gruppo Ricicla – DISAA da ormai un paio di anni si è fatto iniziatore (anche con la promozione di marchi in sede nazionale e Ue) del concetto di uso di "fertilizzanti rinnovabili" in una chiave di valore aggiunto al prodotto agricolo che viene generato.

Cioè prodotti agricoli coltivati "concimi chimici free" in una logica di integrare l'attività di produzione di prodotti primari con quella di energia rinnovabile insieme anche di fertilizzanti rinnovabili, promuovendo una chiusura del ciclo degli elementi nutritivi ed un loro razionale utilizzo. Tutto ciò risulta importante

anche alla luce del continuo incremento del prezzo delle unità fertilizzanti (N, P e K) a cui si assiste ormai dal '98 (prezzi quadruplicati) e dal fatto che l'aumento continuo del prezzo del petrolio e l'esaurimento delle riserve di P e K determineranno, sicuramente, un ulteriore aggravio di costi per l'approvvigionamento di tali concimi.

Ovviamente, l'utilizzo agronomico del digestato quale fertilizzante, non deve tener conto solo del semplice apporto di elementi di fertilità in sostituzione dei concimi di sintesi, ma anche della possibilità di chiusura del ciclo del carbonio e dei nutrienti che sono la chiave di lettura di un'agricoltura sostenibile che riporta la centralità del recupero di materia quale mezzo di sostenta-mento della produzione agraria. L'acquisizione da parte del digestato di uno status di "fertilizzante" che possa godere della fiducia degli operatori agricoli e della popolazione, passa attraverso un attento esame delle caratteristiche chimiche e biologiche del materiale, nonché delle implicazioni ambientali legate al suo utilizzo. In particolare una completa caratterizzazione del digestato deve considerare i seguenti aspetti:

- proprietà fertilizzanti che ne giustifichino l'utilizzo;
- impatto odorigeno;
- aspetti igienico-sanitari;
- emissioni in atmosfera.

Le caratteristiche "chimico-agrarie" del digestato, quali un elevato contenuto in elementi fertilizzanti in forme prontamente disponibili, quali N-NH₄, H₃PO₄ e altre forme di P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e SO₄-²⁻, suggeriscono, in primis, un suo utilizzo quale

fertilizzante a pronto effetto in alternativa ai tradizionali fertilizzanti chimici. La maggior disponibilità delle forme dell'azoto presenti nel digestato, frutto delle complesse biotrasformazioni che avvengono durante il processo biologico, lo configurano quale fertilizzante azotato a pronto effetto, la cui efficienza non si discosta dai tradizionali concimi minerali di sintesi quali, urea e solfato ammonico. Non meno importante risulta la presenza di meso-elementi (Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ etc.) e di oligoelementi nel digestato, che gli conferiscono quelle proprietà di "fertilizzante completo ed equilibrato" alla base dello sviluppo di un'agricoltura più sostenibile.

Con riferimento al titolo in azoto, per poter definire il digestato un fertilizzante azotato assimilabile ad uno di sintesi, e quindi utilizzabile liberamente a "bilancio d'azoto", si ritiene che il contenuto di N ammoniacale nel digestato o sue frazioni, non debba essere inferiore al 70-80% dell'N totale. Infatti, tanto più è presente nel digestato N organico e non ammoniacale, tanto più il digestato si configura come concime azotato a lento rilascio (fertilizzante azotato organico e non minerale). Un obiettivo di tale tipo è raggiungibile solo attraverso la digestione anaerobica dei reflui zootecnici e altre matrici organiche, seguita dalla separazione solido-liquido e dallo stoccaggio in vasche chiuse e successivo utilizzo con interrimento immediato o iniezione. In siffatte condizioni si ottengono due prodotti che assumono significato diverso in termini di valore fertilizzante:

- la frazione liquida ad elevato valore nutritivo, che

contenendo elementi nutritivi in forma minerale, N-NH₄, H₃PO₄ e altre forme di P, K, Ca, Mg e SO₄²⁻, è assimilabile ad un fertilizzante minerale in soluzione acquosa in cui la presenza anche di oligoelementi conferisce completezza nutrizionale. La frazione liquida presenta un elevato titolo di N ammoniacale (>70 %) ed un rapporto N/P elevato. Tali caratteristiche permettono l'utilizzo di tale frazione in totale equivalenza e sostituzione dei fertilizzanti minerali azotati, consentendo al contempo anche apporto di P e K nei rapporti richiesti dalla pianta oltre ad una serie di oligoelementi.

– la frazione solida, che presenta buone proprietà ammendanti risulta di grande utilità per ripristinare il bilancio organico dei suoli (a partire dai suoli Italiani e padani che hanno perso negli ultimi 50-60 anni circa il 50% del contenuto di sostanza organica totale. Inoltre, tale frazione presenta gradi di purezza superiori a quella dei compost.

Di seguito, e titolo esemplificativo, si riporta il riassunto del primo ciclo di sperimentazioni del Progetto Nerø, svolto nella campagna agraria 2011/2012 sviluppato con tesi di pieno campo: sostanzialmente ha visto svolgersi prove di sostituzione del concime minerale (urea) con digestato tal quale e suo separato liquido.

Le prove sperimentali sono state condotte presso due aziende agricole della pianura lombarda situate in provincia di Brescia (azienda A) e Lodi (azienda B).

Entrambe le aziende sono state individuate nell'ambito di

quelle realtà produttive che si sono specializzate nella produzione di energia rinnovabile con processo di digestione anaerobica.

In ogni azienda le prove agronomiche si sono svolte su mais in secondo raccolto (in successione a un cereale autunno-vernino) destinato alla produzione di trinciato integrale per l'alimentazione dell'impianto di biogas.

Le prove si sono svolte con la seguente metodologia di sperimentazione:

Lo schema sperimentale si costituiva di quattro diverse tesi di concimazione, ripetute in doppio. Inoltre, accanto alla zona di sperimentazione vera e propria, è stata denominata un'area, per comodità, «parcellone» utilizzata unicamente per effettuare prove aerodinamiche di emissione ammoniacale, quale controllo delle emissioni dalle parcelle di minor superficie. Le operazioni di fertilizzazione sono state condotte in pre-semina e in copertura al mais (DKC6903, FAO 700) con materiali e tecniche di spandimento differenti in funzione delle varie tesi a confronto.

Le concimazioni sono state eseguite tenendo conto del contenuto di azoto totale del materiale, in modo da effettuare una concimazione omogenea, escludendo la parcella di riferimento (T1). L'incorporazione diretta del digestato è stata eseguita solo nell'azienda A, sia in pre-semina sia in copertura, utilizzando una trattrice dotata di 8 ancore in grado di garantire la copertura del refluo a circa 10 cm di profondità (Claas Xerion 3800VC, accoppiato ad attrezzatura Mainardi).

Nell'azienda B il digestato è stato distribuito solo in pre-semina, attraverso uno spandimento superficiale con piatto deviatore e interrimento contestuale con erpice combinato da minima lavorazione.

I risultati ottenuti delle produzioni di trinciato nelle varie parcelle trattate con le differenti tesi di concimazione, già nel primo anno di sperimentazione e considerando che la stagione 2012 si è caratterizzata per l'elevata siccità, appaiono estremamente interessanti.

Come atteso, in entrambe le aziende coinvolte, le parcelle non trattate (T1) presentano rese inferiori alle tesi fertilizzate.

Le differenze ottenute tra le tesi non sono ampie, il che sta a indicare come il mais non fertilizzato si è giovato della fertilità residua presente nel suolo all'inizio del primo anno di sperimentazione. Con ogni probabilità si assisterà a un incremento delle differenze col passare del tempo, a seguito dell'attenuarsi del cosiddetto «effetto memoria» delle passate concimazioni. Le differenze maggiori di produzione si evidenziano nell'azienda B, dove la tesi T4 (digestato tal quale incorporato), a elevato contenuto di azoto ammoniacale, ha prodotto una maggiore quantità di biomassa rispetto alle altre due tesi trattate con urea e digestato in superficie (T3 e T2).

Per l'azienda A, la mancanza di differenze statisticamente significative è da attribuirsi, oltre che all'andamento stagionale siccitoso, alla disomogeneità di irrigazione che ha creato difformità sullo sviluppo della coltura.

Nonostante ciò i valori medi ottenuti sembrano indicare come il digestato, se utilizzato in pre-semina e copertura e con tecniche di iniezione o immediata incorporazione, possa sostituire integralmente il fertilizzante minerale con urea (tesi T3).

La digestione anaerobica, poiché rappresenta una biotecnologia in grado di mineralizzare l'azoto in condizioni controllate, trasformandolo di fatto in un concime a pronto effetto, può essere potenzialmente responsabile delle emissioni di ammoniaca in atmosfera. In questo contesto le modalità di applicazione dei materiali fertilizzanti divengono fondamentali per limitare gli effetti negativi sull'ambiente (acidificazione dei suoli ed eutrofizzazione delle acque), sulla salute umana (formazione di particolato fine) e sulla perdita di nutrienti per le colture.

La sperimentazione ha mostrato come le emissioni ammoniacali provenienti dall'incorporazione immediata (tesi T4) siano nettamente inferiori a quelle prodotte dall'utilizzo superficiale del digestato senza alcuna incorporazione (T2) (grafico 2). I primi risultati mettono inoltre in evidenza il vantaggio nell'uso virtuoso del digestato anche nei confronti dell'urea. Per di più è possibile osservare che l'uso del digestato per iniezione o incorporazione riduce, potenzialmente, del 90% l'emissione di ammoniaca rispetto a un utilizzo superficiale (in accordo per altro con quanto riscontrato nella recente letteratura).

Parte del programma di ricerca del Progetto Nerø aveva lo scopo di evidenziare l'effettivo vantaggio, in termini di molestia olfattiva, derivante dall'uso del digestato nei confronti del refluo tal quale. In parallelo alle analisi agronomiche sono state anche effettuate prove odorimetriche.

La digestione anaerobica a seguito della degradazione della sostanza organica fermentescibile è in grado di ridurre la molestia olfattiva del digestato rispetto al refluo da cui è prodotto. Vi è cioè una forte riduzione dell'impatto odorigeno, che risulta vantaggiosa nel momento dell'impiego in pieno campo.

A tal fine le misure di olfattometria sono state eseguite sia in pieno campo, durante le prove di distribuzione dei materiali fertilizzanti descritti, sia in laboratorio, con le stesse matrici utilizzate, confrontandole con del liquame bovino tal quale. L'olfattometria è una misura dell'odore e consiste nel somministrare a un gruppo di persone selezionate, diverse diluizioni dell'aria caratterizzata da odore, con lo scopo di determinare le sensazioni risultanti (senso o non senso odore). La diluizione che comporta l'assenza di odore rappresenta l'unità olfattometrica (UO). Quindi, contrariamente all'analisi chimica, quella olfattometrica non fornisce l'identificazione di una sostanza o di un gruppo di sostanze, ma le «unità di odore» della miscela gassosa, ovvero la molestia olfattiva.

Il metodo di misura delle emissioni olfattive utilizzato fa riferimento ai Manuali e linee guida dell'Agenzia italiana per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, che riprende le metodologie ufficiali europee (EN 13725).

I risultati della misurazione in laboratorio delle unità olfattometriche per le matrici tal quali hanno mostrato, confermando le aspettative, come la digestione anaerobica sia in grado di ridurre gli odori rispetto al liquame tal quale.

Le differenze evidenziate in laboratorio si riflettono poi sulla molestia olfattiva nella fertilizzazione di pieno campo. In particolare, come atteso, i risultati mostrano come l'uso del digestato, soprattutto a seguito di incorporazione, riduca drasticamente l'odore percepito e quindi la molestia olfattiva.

Nel corso del 2013 sono proseguite le prove di ricerca di tipo agronomico ed è aumentando lo sforzo per acquisire elementi di conoscenza e valutazione relativamente all'impatto odorigeno e alla qualità microbiologica dei digestati, con lo sviluppo di ulteriori approfondimenti, e di analisi aggiuntive.

Nel complesso, per l'indagine analitica sono stati presi in considerazione dieci impianti di digestione anaerobica differenti per potenza, tipo di alimentazione, tempi di ritenzione e modalità di processo. In una prima fase dell'indagine, su cinque di questi impianti si è proceduto al solo campionamento della matrice ingestata e digestata. In una successiva fase, su altri 5 impianti, sono state considerate anche le vasche di stoccaggio e il separato solido e liquido.

Campioni di ingestato, digestato, digestato nelle vasche di accumulo, separati solidi e liquidi sono stati caratterizzati per :

- Parametri chimico-fisici (Sostanza Secca, Solidi Volatili, Azoto Totale, Azoto Ammoniacale, Acidi Grassi Volatili, Alcalinità), secondo le comuni metodiche;
- Impatto odorigeno, secondo metodologia EN 13725);
- Contenuto di patogeni, secondo i protocolli analitici dell'Istituto Zooprofilattico Sperimentale della Lombardia e dell'Emilia-Romagna "Bruno Ubertini" sezione di Brescia.

La letteratura scientifica riporta come durante la digestione anaerobica, a seguito della degradazione delle frazioni organiche più degradabili, si determini una riduzione nella produzione di molecole osmogene (Wilke, 2005) con una riduzione dell'odore prodotto pari circa all'85-97% rispetto all'ingestato (Wilkie, 2005); Ubeda et al., 2010). Per validare ciò è stato misurato, in laboratorio, il tasso di emissione odorigena delle biomasse campionate basandosi sul sistema riportato da Apat (2003), e successivamente analizzato tramite olfattometria dinamica con metodo standard EU (EN 13725).

Valori elevati di odore (elevato valore di unità odorimetriche, OU) sono stati riscontrati per tutti gli ingestati e in particolar modo negli impianti dove le miscele di alimentazione sono composte sia da biomasse agricole e sottoprodotti agroalimentari sia da liquami. Dopo digestione anaerobica l'impatto odorigeno "crolla". La semplice spiegazione di ciò consiste nel fatto che il processo biologico

degrada le molecole organiche degradabili riducendo anche il potenziale odorigeno dei digestati.

Secondo alcuni autori (Hansen et al., 2006; Hjorth et al., 2008) esiste una correlazione tra produzione di odore e concentrazione di acidi grassi volatili, utilizzati quale parametro per la misura della stabilità biologica della biomassa. L'analisi statistica effettuata sui dati prodotti nel lavoro ha confermato la stretta correlazione positiva tra questi parametri ($r = 0.96$; $p < 0.001$; $n = 28$).

Misure dirette del grado di stabilità biologica dei campioni studiati, per mezzo di misure di consumo di ossigeno della biomassa, e suo confronto con i dati di "odore" ($r = 0.85$, $p < 0.001$; $n = 28$), riconfermano come attraverso la digestione anaerobica, a seguito della degradazione della sostanza organica contenuta, si acquisisca stabilità biologica, diminuendo fortemente il potenziale odorigeno. E' possibile concludere, quindi, che la digestione anaerobica, riduce fortemente l'impatto odorigeno a seguito dell'acquisizione di un elevato grado di stabilità biologica.

Per quanto riguarda gli effetti della digestione anaerobica sulla carica microbiologica, è possibile porre alcuni punti fermi: la letteratura internazionale (Sahlström, 2003; Horan et al., 2004; Smith et al., 2005; Skillman et al., 2009; Massé et al., 2011) concorda nell'affermare che la Digestione Anaerobica riduce la carica patogena totale. Un tale effetto è da ascrivere all'effetto temperatura (soprattutto per processi termofili), all'effetto battericida e batteriostatico dell'ammoniaca prodotta durante il processo, ai valori di pH elevati, alla presenza di

elevate concentrazioni di acidi grassi, che risultano tossici per i batteri soprattutto nelle forme indissociate, alla competizione microbica aspecifica e, non meno importante, ai processi di degradazione con conseguente acquisizione di elevati gradi di stabilità biologica e sottrazione di “nutrimento” ai patogeni.

Se è chiaro che la Digestione Anaerobica è migliorativa del grado igienico sanitario dei digestati è altrettanto chiaro che essa non rappresenta un processo di pastorizzazione e/o sterilizzazione in grado di “azzerare il contenuto di patogeni”.

I risultati delle analisi microbiologiche condotte durante queste indagini dall’Istituto Zooprofilattico Sperimentale della Lombardia e dell’Emilia-Romagna “Bruno Ubertini” sezione di Brescia hanno sostanzialmente confermato le conoscenze riportate in letteratura.

Per i microrganismi riconducibili alla famiglia delle Entero- bacteriaceae (Salmonella, Coliformi fecali, Escherichia coli, Enterobacteriaceae e Yersinia enterocolitica) si osserva un loro generale abbattimento dopo trattamento anaerobico. In particolare i Coliformi fecali, gli Escherichia coli e le Enterobacteriaceae subiscono una notevole diminuzione nel digestato rispetto alla miscela di alimentazione, che si traduce, in alcuni casi a una loro completa scomparsa nel digestato. Un loro generale successivo incremento è invece osservabile nel separato liquido; tale aspetto deve essere meglio indagato in quanto, spesso, le vasche di stoccaggio accolgono, in aggiunta, altri reflui/residui agricoli non digeriti. Salmonella e Yersinia enterocolitica si riscontrano meno frequentemente nei digestati. Sono infatti state individuate solo nel digestato di

alcuni impianti. La Salmonella risulta essere sempre assente dopo separazione solido/liquido, invece in alcuni casi si è avuto la ricomparsa della Yersinia enterocolitica nel separato liquido dei digestati.

La digestione anaerobica è efficace anche per l’abbattimento degli Streptococchi fecali, che in tutti gli impianti considerati risultano essere meno presenti dopo DA.

Minore efficacia della DA si osserva per Listeria che, riscontrata peraltro in solo 3 impianti, sembra poter sopravvivere in condizioni anaerobiche; d’altro canto, non si dimostra la sua presenza dopo separazione solido/liquido. Altri patogeni sono in grado di sopravvivere al trattamento di DA come peraltro riportato in letteratura. I Clostridi, su cui è rivolta importante attenzione, risultano resistenti. Anche il lavoro sembra confermare ciò: Clostridium perfringens mostra andamenti contrastanti, alle volte diminuendo dopo DA per poi aumentare nei separati solido e liquido. Comunque in tutti i 10 casi esaminati, il contenuto nei digestati e derivati non è mai superiore agli ingestati, di fatto smentendo alcune voci secondo le quali la DA sarebbe responsabile della proliferazione di Clostridi.

Nel complesso i risultati ottenuti confermano il ruolo della digestione anaerobica come mezzo efficace per contenere l’impatto odorigeno. Tale dato concorda con lavori precedenti pubblicati da UniMi DiProVe Gruppo Ricicla (Orzi et al., 2010) che già indicavano una riduzione dell’emissione odorigena prodotta dai rifiuti civili e da altre matrici organiche dopo digestione anaerobica.

Anche per quanto riguarda l'aspetto igienico sanitario (contenuto di patogeni) si può dire, in accordo con la letteratura internazionale, che la digestione anaerobica è migliorativa dello stato sanitario degli ingestati.

Con riferimento ai "Clostridi," i risultati indicano una sostanziale "neutralità" del processo in accordo con la letteratura internazionale, anche se è evidente, dopo digestione, una tendenza alla loro diminuzione. È comunque interessante osservare che compost commerciali presentano contenuti di clostridi simili e/o superiori ai digestati.

I risultati ottenuti nel lavoro svolto, almeno sulla base dei dati qui pubblicati e della letteratura internazionale, dimostrano che non esiste un aumento del contenuto dei patogeni studiati durante la digestione anaerobica, anzi spesso il loro contenuto diminuisce.

Quindi, ben al di là dei soli aspetti strettamente economici, c'è un altro e ben più importante motivo che suggerisce l'impiego delle tecniche di digestione anaerobica: si tratta della possibilità di assicurare la compatibilità ambientale delle attività agricole e zootecniche. L'attenzione sull'ambiente è massima a livello sociale e il settore agricolo non può pensare di restarne fuori, soprattutto non può restare fermo né tantomeno immaginare di rivendicare alcuni aspetti della sua "diversità".

Il confronto tra produzione e ambiente appare ormai ineluttabile. A maggior ragione, in un contesto ambientale

particolare come quello, in Lombardia (Italia) della Pianura Padana, caratterizzato da elevata densità antropica e di attività economiche, tra le quali, appunto quella di allevamento (bovini, suini, avicoli). Ed è proprio per cercare una risposta di sostenibilità alle forme di allevamento intensivo che lo strumento "tecniche di digestione anaerobica" risulta interessante, perché in grado di creare valore aggiunto all'azienda agricola (reddito aggiuntivo tramite la produzione di energia) a partire da effluenti, sottoprodotti e prodotti a rischio di marginalità reddituale, garantendo al contempo gli ormai imprescindibili standard di rispetto dell'ambiente.

Efficienza e innovazione alla base di un costante aggiornamento anche del settore agricolo, che veda il rispetto dei parametri ambientali come fattore di sviluppo.

Meglio sembra un percorso oggi possibile e più virtuoso che, attraverso un processo di digestione anaerobica ben condotto nei tempi e nelle modalità, porti il livello dell'effluente "digestato" a un contenuto di azoto ammoniacale del 70%, rendendolo parificabile, sotto il profilo dell'impiego sostanziale, agli effetti di un concime minerale. Tale percorso, oltre l'aspetto quantitativo (% di N in forma minerale) legato alla bontà del processo di conversione, prevede e consente anche un importante aspetto qualitativo di forte portata innovativa, riferito alla complessiva gestione dell'effluente: a partire da un suo invio immediato al digestore al momento della produzione, passando attraverso la copertura degli stoccaggi finali del digestato, fino a una distribuzione in accordo con i fabbisogni agronomici delle colture secondo tempistiche appropriate ed effettuata riducendo al minimo le perdite in atmosfera.

In altre parole, una gestione “efficiente” (80/90%) nell’impiego del digestato, rispettosa degli impatti ambientali ed economicamente vantaggiosa per la redditività dell’impresa agricola.

A questo proposito va sottolineato che se per la qualità delle acque (questione “nitrati”) la corresponsabilità del problema può essere suddivisa tra almeno 3 settori (agricoltura, civile e industriale), non altrettanto si può dire per la qualità dell’aria, dove le emissioni di ammoniaca derivano quasi esclusivamente dalle attività zootecniche (90%). E, soprattutto, bisogna considerare che su questo argomento l’attenzione dell’opinione pubblica è elevata, costante e particolarmente sensibile. Si è ben oltre e lontani da considerazioni ideologiche e/o di parte, trattandosi di questioni sanitarie e, soprattutto, concrete e immediate. Non va poi dimenticato il particolare contesto in cui questo fenomeno si sviluppa: il bacino padano, sostanzialmente un grande “catino” dove per la particolare orografia i venti sono deboli e non molto frequenti e l’inquinamento, quindi, tende a ristagnare, soprattutto in inverno, caratterizzato oltretutto da estesi fenomeni di inversione termica che contribuiscono a trattenere gli inquinanti al suolo, impedendone la dispersione.

Tutti i settori devono allora perseguire ogni marginalità possibile di miglioramento, a partire da rapporti benefici/costi elevati. Non contano tanto e solo i valori assoluti “alti”, quanto e soprattutto i molti e diffusi piccoli miglioramenti, in altre parole il concetto di “utilità marginale”.

Conclusioni

Detto questo, appare evidente che per il settore agricolo (e per gli allevamenti in particolare), la questione “qualità dell’aria” sarà in futuro un confronto sempre più imprescindibile e costante (Piani regionali di interventi per la qualità dell’aria), dunque ben oltre la questione “nitrati”. In Lombardia, ad es., il 30% del particolato è attribuito (fonte Arpa) a origine secondaria (ricombinazione di molecole a base di ammoniaca e ossidi di azoto), mentre dati di bibliografia internazionale attribuiscono all’ammoniaca di provenienza zootecnica l’origine del PM 2,5 con percentuali che vanno dal 5 al 11%. Per quanto riguarda le vasche di stoccaggio (diametro medio di 26 m), si stimano emissioni medie nell’ordine di grandezza di 2 t/anno di ammoniaca (il dato può essere molto variabile, in base alle dimensioni e in funzione dei parametri di contorno quali temperatura, pH, velocità del vento). Sembra allora auspicabile che, con una visione lungimirante, il mondo agricolo e l’agroindustria non si sottraggano e accettino la sfida di questo insieme di “novità” in maniera attiva, responsabile e convinta. Le possibilità che l’ambiente visto come “limite” si trasformi in opportunità e occasione di creare valore aggiunto sono concrete, tecnicamente disponibili ed economiche. La digestione anaerobica, con la possibilità di attivare meccanismi virtuosi a diversi livelli e con plurime, positive ricadute sia all’interno che soprattutto all’esterno, appare un esempio di efficienza e innovazione oggi alla portata degli agricoltori, dell’industria di trasformazione agroalimentare. Trascurare l’importanza della sostenibilità ambientale dei processi agricoli e, in particolare, della sua percezione tra i cittadini e le altre categorie produttive, potrebbe rischiare di trasformarsi poi da

incauta leggerezza a possibile pregiudizio anche economico: a partire dal mancato o ridotto percepimento dei sostegni comunitari europei (Pac, Psr) o dalle possibili multe da parte dell'Unione Europea e fino ad arrivare a maggiori costi negli ordinari processi produttivi e a minori opportunità di reddito.

Soprattutto rappresenterebbe una brutta immagine nei confronti di un'opinione pubblica mondiale sempre più attenta ai temi della sostenibilità delle attività produttive e, in maniera molto particolare, della qualità dell'ambiente.

E' difficile immaginare nel futuro una produzione di qualità nel settore alimentare che non sia accompagnata dal rispetto per l'ambiente.

Lo stesso concetto vale per ogni tipo di residuo e rifiuto in genere, compresi quelli urbani.

Il futuro vede l'efficienza dei processi, la lotta allo spreco, il recupero di materia e di energia dai sottoprodotti come elementi imprescindibili delle produzioni.

Sugli aspetti mediatici della comunicazione si giocheranno molte delle sfide globali, oltre che sui classici costi di produzione.

E anche sotto questo profilo "economico", la digestione anaerobica, si presta bene come strumento per far riconsiderare in maniera utile pratiche gestionali che hanno sin qui considerato l'accumulo di sottoprodotti e scarti come conseguenza inevitabile della creazione di semilavorati e prodotti commerciali.

Superando il concetto di "rifiuto come costo", oltre a generare energia, la digestione anaerobica si avvia, con la produzione di matrici "rinnovabili" recuperate da residui e sottoprodotti dei diversi processi di trasformazione, ad essere la base della neonata industria della "chimica verde (cosiddetta "bio-raffineria").

Un'industria diffusa sul territorio e potenzialmente vicina, a livello mondiale, anche alle forme più semplici e delocalizzate di produzione, a partire da quelle agricole e agroindustriali e comprendendo quella del trattamento delle acque e residui urbani.

Un cambiamento di mentalità che, ancor prima del rispetto di importanti quanto astratti valori ambientali, è un dovere etico nei confronti delle future generazioni.

Riferimenti bibliografici

Sommariva, "Uso razionale dei reflui senza aggravio di costi", L'Informatore Agrario", 46/2009

Schievano et al., Terra e Vita, 29/30 2011,

Adani et al., "La digestione anaerobica fa bene all'ambiente", Terra e Vita 8/2012

Orzi et al., "Dalla digestione anaerobica fertilizzanti davvero rinnovabili, Terra e Vita 30/2012

Adani, "Digestato come fertilizzante, la sfida della sostenibilità", Terra e Vita 6/2013

Gabriele Boccasile “La difesa dell’ambiente, una opportunità per l’agricoltura”, Terra e Vita 6/2013

Riva et al., “L’uso del digestato in campo sostituisce i concimi chimici”, L’Informatore Agrario, 9/2013

D’Imporzano, “L’aflatossina non frena il biogas”, Terra e Vita 18/2013

Orzi et al., “la digestione anaerobica riduce patogeni e odori”, Terra e Vita 8/2014

GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES Y URBANOS

- Energía desde residuos: caracterización de RSU y “ecología territorial”, una herramienta para la toma de decisiones
 - Energy from waste: Characterization of MSW and Territorial Ecology decision making tool
-
- El modelo catalán de gestión de residuos. Impulso a las tecnologías de digestión anaeróbica de la fracción orgánica recogida selectivamente, y de la materia orgánica contenida en la fracción resto de los residuos municipales
-
- Proceso integrado para la conversión de RSU en materias primas de alto valor agregado – El concepto “Basura Cero”

ENERGÍA DESDE RESIDUOS: CARACTERIZACIÓN DE RSU Y HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES “ECOLOGÍA TERRITORIAL”

Jacques Méhu^{1,2}, Jeanne Bonnet², Pascale Naquin²

¹INSA de Lyon – ²PROVADEMSE

Villeurbanne, Lyon, Francia

Resumen

SYTERRE es una metodología desarrollada por PROVADEMSE de INSAVALOR para evaluar el potencial de producción de nuevos recursos (materiales reciclados y energía) a partir de residuos y flujos de biomasa en un territorio dado. En cuanto a la producción de energía a partir de residuos orgánicos, las estrategias de conversión consideradas son: la biológica (digestión anaeróbica), la térmica (combustión, pirolisis y gasificación), y la física (preparación de combustibles sólidos recuperados).

El primer paso de la metodología es la recolección y análisis de los datos relativos a los flujos de residuos del territorio seleccionado. Esto puede ser realizado tanto por integración de datos existentes (encuestas previas o información de empresas privadas dedicadas al relevamiento de datos), encuestas en áreas específicas (agroindustria, cría de animales, fábricas de alimentos o bebidas, etc.), uso de coeficientes genéricos y extrapolación, o campañas de caracterización (por ejemplo para residuos urbanos).

Al ser la composición de los residuos urbanos diferente de un país a otro, de una ciudad a otra, de un territorio a otro,

generalmente se recomienda organizar una campaña específica de caracterización. La caracterización de residuos urbanos requiere la aplicación de un riguroso protocolo de muestreo y separación, basado en los objetivos y en las características globales del residuo.

A partir de una base de datos con los valores energéticos potenciales, y de acuerdo a la estrategia de conversión, se proponen diferentes escenarios para el territorio agrupando flujos de residuos compatibles, potencialmente pre-tratados. Los diferentes escenarios propuestos se mapean para integrar las especificidades del territorio.

La evaluación y un ranking de los escenarios (incluyendo la situación existente como referencia) se proponen en base a, las necesidades del territorio (tipo específico de la forma de energía esperada, como combustible para transporte, gas, vapor, calor para invernaderos, para piscinas, etc.) y considerando las perspectivas de desarrollo sustentable (impacto medioambiental, eficiencia, economía, aspectos sociales, etc.).

Palabras clave

Ecología industrial, ecología territorial, manejo de residuos, energía de residuos, energía renovable, soporte para decisiones, caracterización de RSU

1. Introducción

1.1. El contexto de cooperación 4MM – 4ME

Los Cuatro Motores para Europa (4ME) es una cooperación interregional conformada en 1988. Incluye cuatro regiones europeas: Baden Württemberg (Alemania), Catalonia (España), Lombardia (Italia) y Rhône Alpes (Francia) con el objetivo de desarrollar acciones en común. El grupo económico de los 4-ME trabaja junto a dos regiones en carácter de asociadas: Gales (Reino Unido) y Flanders (Bélgica). Inspirada en los Cuatro Motores para Europa & Asociados, la cooperación de los Cuatro Motores para el Mercosur comenzó en Noviembre de 2008 y está compuesta por el Estado de Paraná (Brasil), el Departamento de Alto Paraná (Paraguay), la Provincia de Córdoba (Argentina) y el Departamento de Rivera (Uruguay). Este es el primer proyecto que involucra regiones de Sudamérica para el intercambio de experiencias y colaboraciones, teniendo como principal objetivo el desarrollo coherente y coordinado de las regiones miembro y la creación de un debate común a todo el continente.

La cooperación entre los 4-ME & Asociados y los 4-MM persigue la mejora de las relaciones entre el Mercosur y la Unión Europea. El 20 de Mayo de 2009, ambas redes firmaron un Memorandum de Intención para establecer una cooperación en las áreas prioritarias de política económica e investigación y desarrollo, siendo la finalidad el desarrollo de proyectos en común.

La cooperación efectiva comenzó en Febrero de 2010 en Paraná, donde tuvo lugar un seminario entre las ocho regiones con el objetivo de establecer las bases operativas de la cooperación. Una planificación con objetivos a corto y mediano plazo se firmó por las ocho regiones y un grupo de trabajo económico puso en marcha dos proyectos principales: el desarrollo de agencias en las regiones de Sudamérica y el programa *Clean Tech* con un primer intercambio en tecnologías ambientales avanzadas.

El proyecto busca la cooperación económica y tecnológica en temas medioambientales y el *Clean Tech*, entre Cuatro Motores para Europa & Asociados y Cuatro Motores para el Mercosur, además de difundir prácticas innovadoras compatibles con el desarrollo verde.

El programa *Clean Tech* se ocupa del sector medioambiental y apunta a incrementar la competitividad de las empresas y la calidad del medioambiente a través de intercambios entre las dos redes.

Una vez identificados los temas principales, el trabajo para los años 2010 – 2011 se focalizó en el tratamiento de residuos, reciclado/biomasa y energías renovables.

El primer paso fue la conformación de una mesa de trabajo en el *Pollutec Lyon 2010* seguido por dos seminarios en Córdoba en 2011 y en Villa María 2013. Durante estos eventos económicos y tecnológicos entre ambas redes, se presentaron tecnologías avanzadas y se realizaron rondas de negocios entre empresas y centros de investigación.

Todas las acciones cooperativas a implementarse en este marco forman parte del llamado “Proyecto Madre” descrito más abajo siguiendo los principios de la Ecología Territorial.

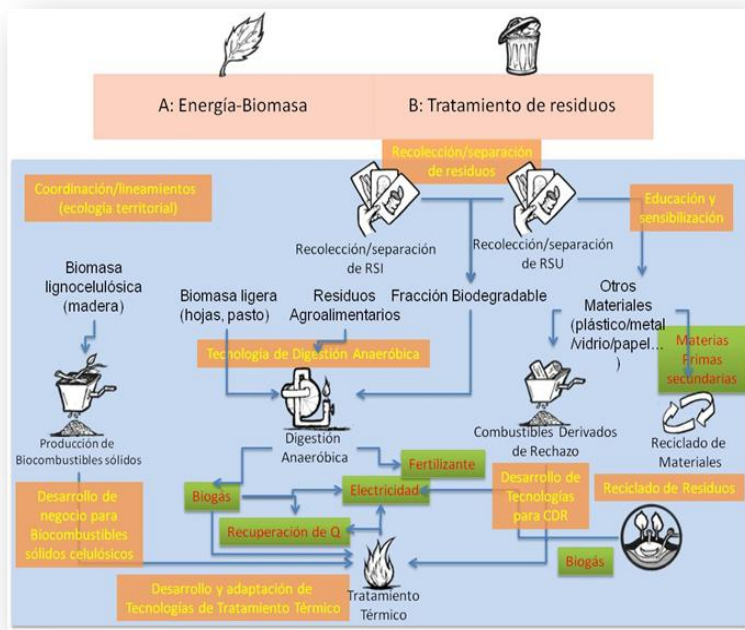


Fig. 1: Diagrama detallado del proyecto madre

El presente artículo describe la metodología propuesta por PROVADEMSE y que fue presentada en el Seminario Internacional de Biomasa en Villa María.

1.2. Definición, ventajas y perspectivas de la ecología industrial

El concepto de ecología industrial surgió en los años '90 y fue creciendo gradualmente. Desde 1997, la ecología industrial cuenta en los Estados Unidos con una revista científica especializada, el "Journal of Industrial Ecology". En Europa, el trabajo del científico suizo Suren Erkman "*Hacia una ecología industrial 1*" (Erkman, 1998) es considerado de referencia. En Francia, muchos actores de las áreas científica, técnica, operacional y asociativa, también contribuyeron al desarrollo de la materia a través de la creación de herramientas y metodologías adecuadas, lo cual promovió el surgimiento de nuevos proyectos.

La ecología industrial propone considerar al sistema industrial como un ecosistema en sí mismo, en lugar de considerarlo como un elemento excluido del ecosistema natural. La meta de la ecología industrial es lograr que el sistema industrial alcance un ecosistema ideal.

Este enfoque contrasta con el de "final de línea", el cual sólo considera el tratamiento separado de residuos, a menudo con un abordaje compartimentado que puede llevar a problemas de transferencia, a una falta de coordinación entre sectores, y a un aumento de los costos de proceso por el incremento de los requerimientos ambientales.

La ecología industrial ofrece una visión integradora e intersectorial. El objetivo es cambiar la idea de "recursos infinitos y cantidad ilimitada de residuos" por una más balanceada de "recursos finitos y cantidad limitada de residuos". Se definen cuatro áreas clave para acciones prioritarias:

- Reutilización de residuos como recursos
- Completar los ciclos de los materiales para minimizar emisiones
- Reducir el uso excesivo de materiales en la producción y las actividades económicas
- Descarbonizar la energía

El estudio de metabolismo industrial es la herramienta previa para un óptimo sistema de gestión de recursos. El estudio del sistema industrial y flujos de materia y energía se concreta por medio de dos balances:

- Balance de materiales: flujo, stock de material, propiedades físicas y físico-químicas
- Balance de energía

La ecología industrial se basa en encontrar sinergias entre dos o más actores industriales que de manera conjunta desarrollen una cooperación y manejen flujos particulares de materia o energía. Se presentan así dos tipos de sinergias:

- Sinergias de sustitución: transferencia de materia o energía desde un establecimiento a otro. En este caso se da una sustitución de materia prima por materiales o energía no utilizados hasta el momento, provenientes del primer establecimiento;
- Agrupamiento de sinergias: cooperación entre varios establecimientos para manejar conjuntamente bienes y/o servicios (p.ej. manejo de residuos) con el objetivo de obtener servicios bajo mejores condiciones (menor costo, mayor calidad, etc.).

1.3. El enfoque específico de SYTERRE

La metodología y las herramientas desarrolladas mediante SYTERRE (SYnergies TERritoriales des REsources: Sinergias Territoriales de Recursos) son diseñadas para posibilitar un manejo territorial de residuos (industriales, comerciales, agrícolas y urbanos) y la utilización de estos materiales para la producción de nuevos recursos energéticos y materias primas. SYTERRE se diferencia entonces de los métodos convencionales de ecología industrial en diversos puntos.

En primer lugar, SYTERRE piensa en términos de ecología industrial **y** territorial (EIT) y no sólo en los conceptos de ecología y simbiosis industrial. Los puntos principales de la EIT y aquellos en los que SYTERRE se concentra son:

- La EIT refiere a un territorio con todos sus componentes de autoridad pública (gobiernos locales, asociaciones, autoridades regionales, etc.)
- La EIT incorpora objetivos de bienes públicos de interés general (desarrollo común, creación de negocios, lazos entre actores, trabajo, educación, etc.)
- La EIT abarca varios tipos de socios trabajando en diferentes áreas (productores industriales, compañías de servicios, comunidades, granjeros, educadores, investigadores, ciudadanos, etc.)

Otra particularidad de SYTERRE es que engloba el tipo de las principales sinergias buscadas. La metodología está basada en el valor potencial que puede ser generado a partir de residuos. Por lo tanto, no se trata de buscar sinergias de sustitución directa que podrían considerarse simplistas, ni de agrupar sinergias pensadas sólo con el objetivo de “hacer juntos”.

SYTERRE se enfoca entonces en la posible transformación de residuos para obtener valores que puedan ser correlacionados con las necesidades del territorio en términos de materias primas o energía. Dicho enfoque requiere acciones para la transformación de residuos:

- Para cambiar las características de un residuo y que así cumpla con las especificaciones cualitativas para un uso específico;
- Para reformar la dinámica de los flujos por consolidación, concentración, transformándolos en “aptos para el mercado” para que cumplan con las necesidades del usuario;
- Para diseñar una combinación de diferentes flujos complementarios que alcancen las especificaciones requeridas (ajuste del poder calorífico, humedad, nivel de nutrientes en el compost, relación entre ácidos y álcalis, etc.).

Esta metodología requiere también una reflexión sobre la movilización de industrias existentes o la creación de nuevas industrias y puede, de esta manera, contribuir significativamente a las estrategias de desarrollo del territorio.

2. La Metodología SYTERRE

Mirada general del método en 5 pasos

La metodología SYTERRE aplicada a un territorio está basada en cinco pasos principales:



2.1. Análisis de las necesidades y políticas del territorio

El análisis del territorio es un paso clave para un mejor entendimiento de la situación inicial y las particularidades del territorio en varios aspectos: actores clave, geografía, organización económica, fortalezas y debilidades.

Para entender las necesidades de los solicitantes es esencial incorporarlos en el proceso de manera temprana. Sus expectativas pueden ser definidas por medio de una estrategia política global y/o por objetivos bien específicos.

Esta consideración tiene implicancias en la elección de las industrias de proceso y en el desarrollo de escenarios de manejo de residuos. El análisis del territorio es también interesante para pre identificar e incluso mapear acciones sobre las cuales hacer foco, y para considerar la competencia y hasta las contradicciones entre los desarrollos futuros. La prioridad debería darse sólo a acciones que provean un valor real no destructivo a sistemas existentes.

2.2. Recolección de datos

SYTERRE requiere un conocimiento preciso sobre los residuos considerados en el estudio. Este conocimiento puede provenir de diversos métodos que pueden ser combinados entre sí:

- Encuestas específicas a campo a productores seleccionados (tipo de residuo, clasificación, status, análisis, cantidades, frecuencia, forma de almacenamiento, industria actual de procesamiento);
- Una etapa de análisis global del territorio, basado en inventarios en los cuales se listen los residuos de cada actor clasificados en una guía de referencia, como por ejemplo la Guía Europea de Residuos;
- Evaluación estadística con las tasas actualizadas de producción de residuos (por ej. tasas de producción de bioresiduos de restaurantes y cantinas) y datos locales (número de industrias y su tipología, etc.).

Cada método tiene ventajas y desventajas. Las encuestas personales proveen conocimiento específico pero demandan mucho tiempo y dinero, y dependen de la cooperación de los interlocutores. El uso de tasas de producción no aporta un conocimiento demasiado específico pero sí una satisfactoria y apropiada evaluación global si existen disponibles datos estadísticos relevantes. Se puede obtener aún más información sobre las características de los

residuos, tanto por muestreo y análisis de laboratorio como a través de datos de la literatura y la investigación académica.

2.3. Valor potencial de los residuos

La transformación de residuos a valores potenciales permite a los actores identificar los residuos como nuevos recursos potenciales. Ayuda a entender de qué manera pueden los residuos ser procesados para dar materias primas secundarias y/o crear diversos tipos de energía.

No se pueden operar simultáneamente todos los valores potenciales de un residuo, por lo que cada actor deberá tomar una decisión seleccionando los valores o tipos de procesamiento preferidos. Por ejemplo, el residuo de cartón posee un potencial para energía térmica (por incineración), un potencial para energía eléctrica y térmica (obtenido potencialmente por digestión anaeróbica y cogeneración), un potencial para producción de biogás (por digestión anaeróbica e inyección en la red de gas natural), un potencial de reciclado, y finalmente, un potencial para compost (junto a otros bioresiduos). Pero, el mismo residuo de cartón sólo puede seguir una única cadena de proceso para la utilización de uno de los potenciales anteriores, por lo que se debe tomar una decisión.

2.4. Construcción de escenarios utilizando SIG

Los valores potenciales de un residuo permiten orientarlo hacia una industria de procesos que pudiera aprovechar esos potenciales, para transformarlos luego en valores reales.

Los criterios de entrada (mínimos y/o inaceptables) deben ser tomados en cuenta para cada sector industrial analizado en el estudio. Los criterios, junto a los valores potenciales estimados, permiten validar la hipótesis de orientación de un residuo dado hacia un sector específico de procesamiento (p.ej. un residuo con un interesante poder calorífico, pero con propiedades explosivas, no puede ser valorizado como combustible sólido recuperado).

Se crean entonces varios escenarios de gestión de residuos y producción de valor. En cada escenario, un residuo considerado sigue sólo una vía de tratamiento con el objetivo de traducir su potencial en valor. No todos los escenarios tomarán en cuenta los mismos tipos de residuos. Esto dependerá en gran medida de las decisiones y prioridades de los actores locales.

La construcción de escenarios es realizada tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Los valores potenciales de los residuos, asociados a los tratamientos apropiados;
- Las prioridades políticas basadas en un árbol de decisión para elegir el orden de aplicación de los tratamientos (“primero producir compost”, o “primero producir combustible”, etc.);
- Integración en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para buscar la ubicación “ideal” de las plantas de tratamiento a instalarse. El mapeo es también una herramienta para promover y posicionar los actores principales del territorio.

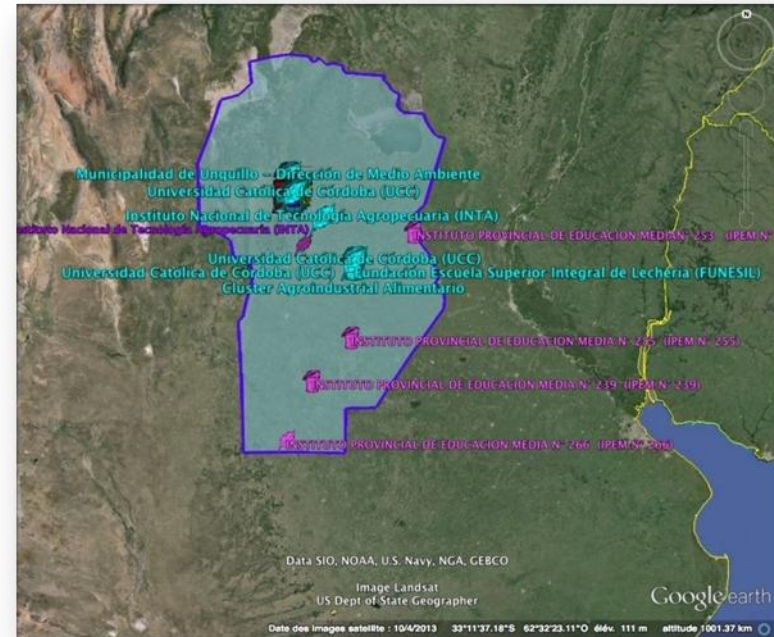


Fig. 2: Ejemplo de mapeo de actores en el territorio de la Provincia de Córdoba

2.5. Análisis y comparación de escenarios

La comparación de escenarios se basa en un análisis multicriterio. Cada escenario es evaluado utilizando cuatro familias de criterios:

- Performance (producción eficiente de valores para el territorio);
- Economía (inversión y costos de operación);
- Medioambiente (basado en el Análisis del Ciclo de Vida con el software SimaPro®);

- Aspectos sociales.

Los criterios de cada familia deben adaptarse al contexto del estudio para ocuparse de la situación del territorio de la mejor manera. Para cada familia, la agregación parcial de los criterios ayuda a evitar los efectos sistemáticos de compensación entre aspectos positivos y negativos de un caso. Una ponderación de los criterios puede ser realizada basada en las preocupaciones de los solicitantes.

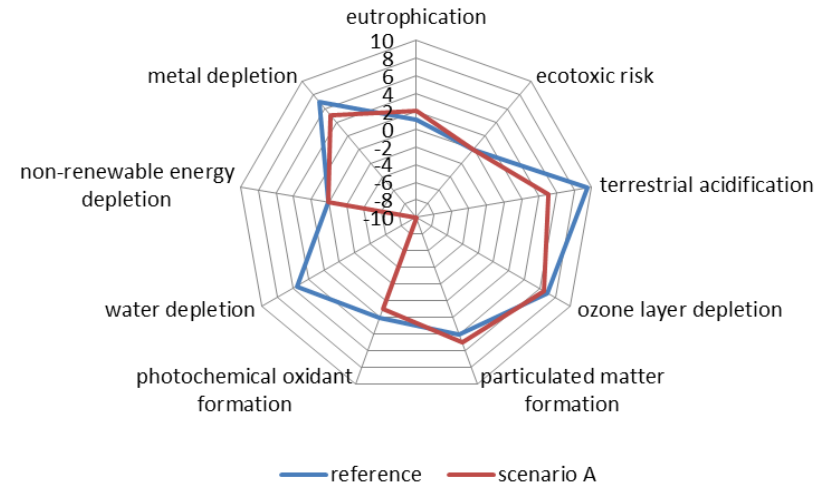
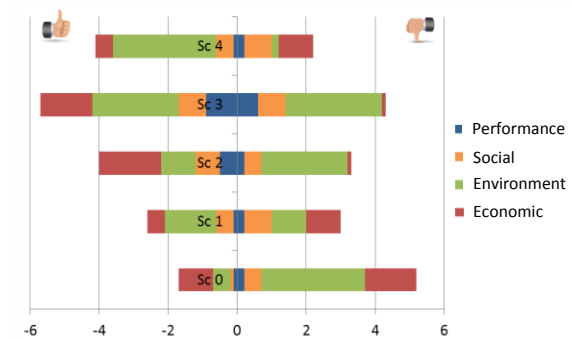


Fig. 3: Ejemplos de perfiles esquemáticos de resultados de análisis multicriterio.

3. Adaptación del contexto local con diferentes medios y herramientas

3.1. Dinámicas específicas de las redes de actores

Más allá de las necesidades generales y de la política del territorio, deberían examinarse también las dinámicas específicas de las redes de actores y/o solicitantes. Por ejemplo, un grupo de industriales podría necesitar una solución de producción local de energía y estaría dispuesto a invertir en un proyecto si éste se ajusta a esas necesidades. Sería una lástima no dar prioridad al estudio del escenario con producción de energía a partir de residuos.

3.2. Integración de disposiciones específicas para flujos u oportunidades de tratamiento determinados

La adaptación al contexto local requiere estudios que tomen en cuenta la gestión local de residuos. Diversos tipos de situación pueden ser estudiados, por ejemplo:

- La presencia en el territorio de un residuo cuyo manejo es actualmente un problema y para el cual se busca con urgencia una solución de tratamiento apropiada;
- Un proyecto ya bajo estudio para la instalación de una unidad local de procesamiento y tratamiento de residuos. Es importante remarcar que los estudios de EIT consideran los proyectos territoriales ya en marcha en el lugar para anticipar y evitar posibles problemas de competencia (relacionados a la oferta de residuos o a las oportunidades de mercado de las producciones locales existentes o para

potenciar dichas producciones/recursos con nuevas posibilidades no consideradas todavía).

- Actores locales de tratamiento de residuos. Se considera cómo pueden estos actores conectarse o incorporarse al proyecto a través del estudio de sus posibles cambios o adaptaciones. También se presta atención a que el proyecto no interfiera con sus mercados actuales. Por ejemplo, si un actor (industria, productor agropecuario, otro tipo de empresa) ya maneja una cierta cantidad de un residuo, esta no podría ser incluida en la construcción de escenarios.

De nuevo, uno de los objetivos del estudio es tomar en cuenta las particularidades locales en una primera etapa del proyecto para proponer soluciones adaptadas al contexto local y no construir escenarios desconectados de la realidad.

3.3. Uso de información local con la cooperación de los recolectores de residuos

En ciertos casos, la recolección de datos por medio de encuestas y el uso de tasas adoptadas no son suficientes, por lo que se debe tener en cuenta la posibilidad de buscar la cooperación de las empresas de recolección de residuos. Ellas poseen una buena cantidad de conocimiento sobre la zona y los residuos que recolectan, y frecuentemente manejan su tratamiento interna o externamente en conjunto con otra industria. Poseen esta doble dimensión de conocimiento

técnico y de negocios. Luego se debe considerar, caso por caso, el tipo de datos de interés que pueden proveer, respetando la confidencialidad. La información puede clasificarse por tipo de residuo, por sector, o por tipo común de productor.

Estas empresas podrían presentar un interés en ser involucradas tempranamente en el proyecto, dado que luego se evaluará con ellas la posibilidad de implementar acciones que de otra manera no serían tomadas en cuenta. De esta manera podrían obtener una ventaja competitiva.

3.4. Integración de datos de caracterización de residuos: el caso de los Residuos Sólidos Urbanos

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU, MSW por sus siglas en inglés) también pueden ser tenidos en cuenta en la metodología SYTERRE, pero este tipo de residuo frecuentemente no es bien conocido y está poco caracterizado (debido especialmente a su elevada heterogeneidad). Por suerte, se pueden llevar adelante campañas de caracterización para obtener un mejor conocimiento de la composición de los RSU.

Dichas caracterizaciones pueden realizarse para cumplir también con otros objetivos, por ejemplo:

- Generar conciencia en la sociedad sobre la importancia de la recolección selectiva de los residuos separados en origen;
- Optar por un escenario determinado para la gestión de residuos (clasificación, reciclado, preparación de compost, digestión anaeróbica, producción de

Combustible Sólido Recuperado (CSR), relleno sanitario);

- Dimensionar un centro de clasificación o una unidad de recuperación de residuos; etc.

El primer paso es la identificación de las posibles causas de variabilidad en la composición de los residuos municipales y la definición de un protocolo consistente con los objetivos y que tenga en cuenta lo siguiente:

- Estudio de la organización socio-económica de la ciudad: hoteles, áreas comerciales y administrativas, tipos de vivienda, hospitales, etc.;
- Identificación de eventos excepcionales que podrían modificar significativamente la calidad y cantidad de los residuos (época del año, turismo, grandes festividades, etc.);
- División del territorio en sectores de acuerdo a las tipologías seleccionadas (urbano, rural, etc.) y los períodos de tiempo de caracterización definidos;
- Elección del número de muestras por sector (con un mínimo de cinco muestras para obtener un promedio para cada sector);
- Elección de la masa de las muestras.

La caracterización se lleva a cabo en dos etapas principales: el muestreo y la clasificación de las muestras. La clasificación del residuo se encuentra con frecuencia precedido por una etapa de clasificación por tamaño (lo que permite, entre otras cosas, optimizar el tiempo total de clasificación).





Fig. 4: Algunas imágenes de las campañas de caracterización de residuos

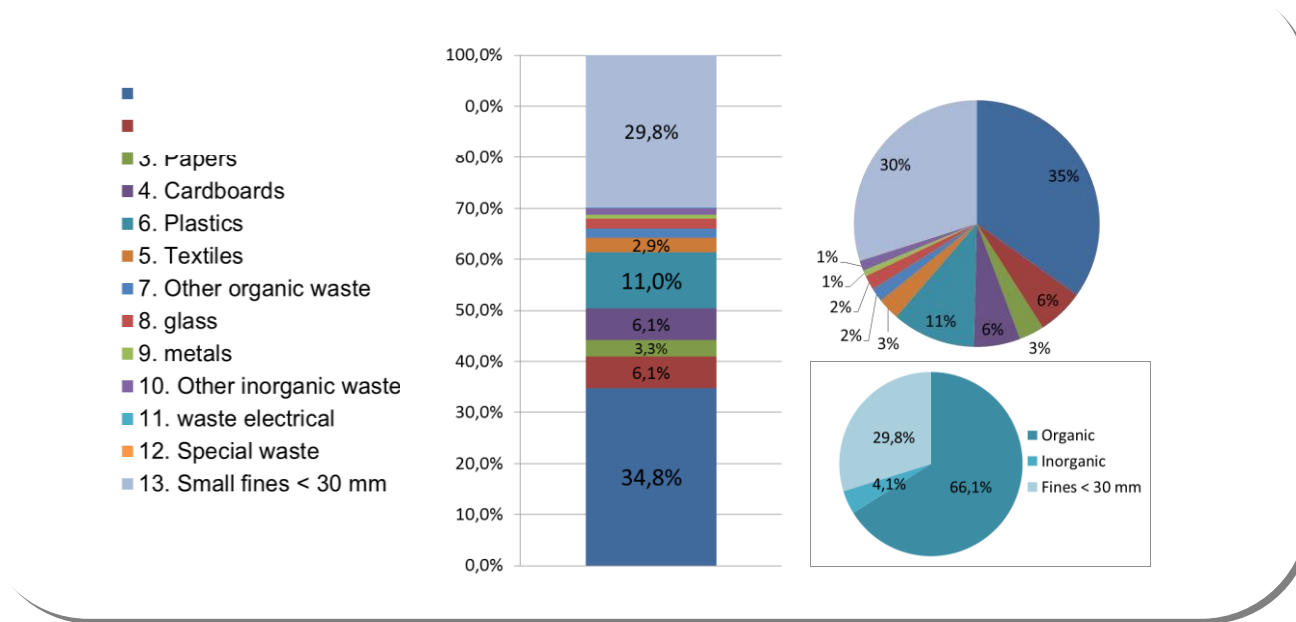


Fig. 5: Ejemplos de la presentación gráfica de los resultados de caracterización

4. Conclusiones

SYTERRE ha sido desarrollado como una herramienta de ayuda para las autoridades locales y los actores industriales para considerar los mejores escenarios de tratamiento de residuos como una producción de recursos para el territorio. Permite integrar diferentes tipos de residuos (industriales, municipales, agropecuarios), diferentes tipos de

tratamiento (existentes o por adoptarse) y toma en cuenta las necesidades específicas y políticas del territorio. Por medio de representación geográfica y análisis multicriterio, el objetivo principal es brindar a los actores locales herramientas de decisión para su propio desarrollo sustentable y manejo de recursos.

Referencias bibliográficas

- Erkman S. 2004. Vers une écologie industrielle. C.L. Mayer. 251p. 2004. ISBN: 2-84377-088-2.
- Méhu J, Bonnet J, Maisonnier B, Léon J, Dassier D. «SYTERRE (Synergies TERRitoriales des REssources): identification et qualification environnementale de scénarios de production de nouvelles ressources en énergies et en matières premières à partir d'un diagnostic territorial ». Colloque E3D 21-24 mars 2012.
- Harpet C, Blavot C. Ecologie industrielle et territoriale, cadre théorique, concepts clés, principes méthodologiques, applications industrielles, références et bibliographie, Revue Techniques de l'Ingénieur, Base documentaire Environnement, Rubrique Déchets, dossier «Ecologie industrielle: la gestion des matières premières secondaires dans le métabolisme territorial; illustrations» 12 p. Juin 2010.
- Harpet C, Gully E. 2013. Revue *Déchets, Sciences et Techniques*, «Écologie industrielle et territoriale: quels outils d'aide à la décision? De l'analyse des flux à l'approche intégrée». N° 63. Avril 2013.
- Harpet C, Gully E, Blavot C, Bonnet J, Méhu J. 2013. «Seeking industrial synergies and cooperations research program on a territory: the case of Chemichal Valley in France». Harpet C., Gully E., Blavot C., Bonnet J., Méhu J., in *Industrial Ecology, An International Journal (PIE)*, A special issue "The Role of Environmental Management in Industrial Ecology". Inderscience publishers. June 2013.
- Bonnet J, Naquin P, Sarrazin B, Follet S. «Conception et rédaction d'un guide, d'outils associés et de pages internet pour la mise en œuvre d'une campagne locale de caractérisation des déchets ménagers et assimilés». Etude réalisée à la demande de l'ADEME, par INSAVALOR plateforme PROVADEMSE en collaboration avec TERRA SA et GV Création, courant 2014 (étude en cours).

ENERGY FROM WASTE: CHARACTERIZATION OF MSW AND TERRITORIAL ECOLOGY DECISION MAKING TOOL

Jacques Méhu^{1,2}, Jeanne Bonnet², Pascale Naquin²

¹INSA de Lyon – ²PROVADEMSE

Villeurbanne, Lyon, France

Abstract

SYTERRE is a methodology developed by PROVADEMSE INSAVALOR for assessing the potential of production of new resources (recycled materials and energy) from wastes and biomass flows of a given territory. As far as energy production from organic wastes is concerned the considered conversion strategies are biological (anaerobic digestion), thermal (combustion, pyrolysis and gasification) or physical (preparation of solid recovered fuels).

The first step is the collection and analysis of the data concerning the waste flows of the selected territory. This can be done either by integration of existing data (previous inquiries or data from collection private operators), targeted inquiries on specific activities (agro-industry, breeding, breweries, etc.), use of generic ratios and extrapolation, or characterization campaign (e.g. for municipal waste).

As municipal waste composition is often different from one country to another, from one city to another, from one territory to another, it is generally recommended to organize a specific characterization campaign. Municipal waste characterization requires a rigorous protocol of sampling and sorting, based on the objectives and the global characteristics of the waste. A movie presenting the PROVADEMSE

methodology for municipal waste characterization is available [here](#)⁶.

A database of potential energy values according to the conversion strategies is used to propose different scenarios for the territory by gathering some compatible waste flows, potentially pre-treated.

A mapping of the scenarios is proposed to integrate the specificities of the Territory.

An assessment and a ranking of the scenarios (including the existing situation as a reference) can be proposed based on one hand on the need of the Territory (specific type of expected energy form (transport fuel, gas, vapor, heat for greenhouse, heat for swimming pool,...) and on the other hand on the sustainable development perspective: environmental impact, efficiency, economy, social aspects).

Keywords

Industrial ecology, territorial ecology, waste management, energy from waste, renewable energy, decision support, MSW characterization.

⁶<http://youtu.be/UnAjeuyWP>

1. Introduction

1.1. The context of the 4MM-4ME cooperation

The four Motors for Europe is an interregional cooperation started in 1988. It includes 4 European Regions: Bade Württemberg (Germany), Catalonia (Spain), Lombardy (Italy) and Rhône-Alpes (France) in order to develop common actions. The economic group of the 4 Motors for Europe is working with 2 Regions as Associates: Wales (United Kingdom) and Flanders (Belgium). Taking inspiration from Four Motors for Europe & Associates, the Four Motors for Mercosur cooperation started in November 2008. It is composed by Paraná State (Brazil), Alto Paraná Department (Paraguay), Cordoba Province (Argentina) and Rivera Department (Uruguay). This is the first project that involves South American Regions in exchanging experiences and collaborations. Its objective is to contribute to concerted and coherent development of the Regions and to create a common debate among the continent.

The cooperation between 4 Motors for Europe & Associates and 4 Motors for Mercosur aims at improving the connections between Mercosur and the European Union. On May 20th 2009, the two networks signed a Memorandum of Intent to establish cooperation in the priority fields of political economy and research and development although the final objective is to develop common projects.

The effective cooperation started In February 2010 in Paraná, when a seminary between the eight Regions of the 2 networks took place in order to build the operational basis of the cooperation. An economic road map was signed by the 8 regions and an economic working group launched 2 major projects: development agencies within South American Regions and Clean Tech program with a first exchange on environmental advanced technologies.

The project aims at setting up economic and technological cooperation in environment and Clean Tech between Four Motors for Europe & Associates and Four Motors for Mercosur and at spreading of new innovating practices compatible with a green development.

The Clean Tech Program is dealing with environmental sector and aims at increasing the competitiveness of companies and the quality of environment thanks to the exchanges between the two networks.

Main subjects have been identified and represent the main work for the years 2010 – 2011: waste treatment and recycling/biomass and renewable energies.

A first step was a round table on Pollutec Lyon 2010 followed by two seminars in Cordoba in 2011 and in Villa Maria in 2013: during these economic and technological events between the two networks, presentation of advanced technologies and business meetings between companies and research centers took place.

All the cooperative actions to be implemented in this framework will be part of the so-called “Mother Project” described below following the principle of Territorial Ecology.

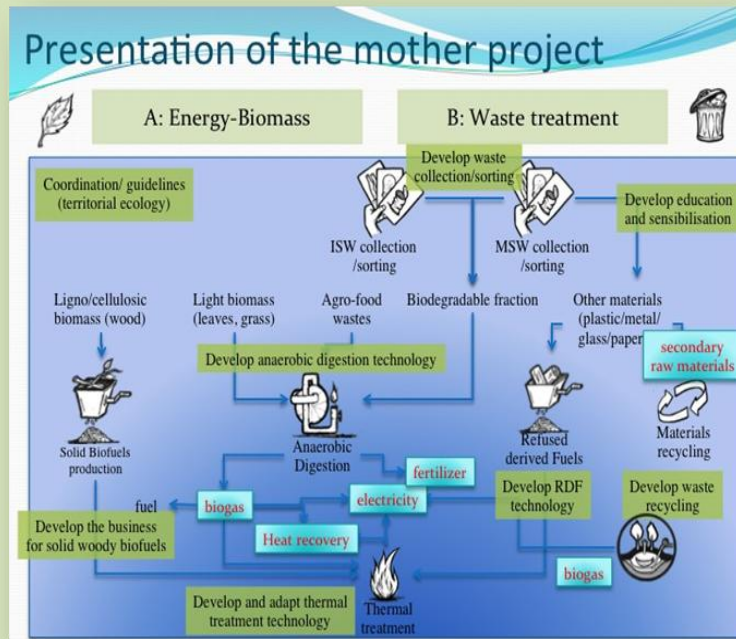


Figure 1 : Detail diagram of the mother project

This article describes the methodology proposed by PROVADEMSE and presented at the Villa Maria Biomass international seminar.

1.2 Definition, advantages and perspective of the industrial ecology

The concept of industrial ecology arose in the 90s and increased gradually. Since 1997, industrial ecology in the United States gets a dedicated scientific journal: the "Journal of Industrial Ecology." In Europe the work of Swiss scientific Suren Erkman, "Towards a industrial ecology 1" (Erkman, 1998) is a reference. In France many actors in the scientific, technical, operational or associative fields, also seized the matter, and developed it by creating adapted tools and methodologies and thus allow the emergence of projects.

Industrial ecology proposes to consider the industrial system as an ecosystem in its own right, rather than to consider it as a separate element excluded from the natural ecosystem. The goal of industrial ecology is to get the industrial system to reach an ideal industrial ecosystem.

This approach breaks with the "end of pipe" approach, which only considers the separate waste treatment, often with a compartmentalized approach that can lead to some pollution transfers problems, a lack of coordination between sectors and increasing processing costs due to increasing environmental requirements.

Industrial ecology offers a comprehensive and cross-sectorial approach. The goal is to switch from the "infinite resources and unlimited amount of waste" to a more balanced operation of "finite resources and limited amount of waste". Four key areas for priority actions are defined:

- re-use waste as a resource ,

- complete the material cycle loop to minimize dissipative emissions
- dematerialize the products and economic activities,
- decarbonize the energy.

The industrial metabolism study is the main tool prior to the establishment of any optimal resource management: study of industrial system and material and energy flows, which is concretized by two balances:

- mass balance : flux, material stock, physical, physicochemical properties,
- energy balance.

Industrial ecology is based on finding synergies between two or more industrial actors who come together to develop cooperation and jointly manage particular material or energy flows.

Two types of synergies arise:

- Substitution synergies: material or energy transfer from one entity to another one. There is in this case substitution of a raw material by waste or energy until then unused from the first entity;
- Synergies pooling: cooperation between several entities to jointly manage goods or services (e.g. waste management) in order to access services under better conditions (cheaper, best quality, etc.).

1.3 The specific approach of SYTERRE

The methodology and tools developed by SYTERRE (SYnergies TERRitoriales des REsources: territorial synergies of resources) are designed to enable a territorial management of waste (industrial, commercial, agricultural and municipal) and the exploitation of these deposits for the production of new

energy resources and raw materials. SYTERRE therefore differs from conventional methods of industrial ecology at different points.

Firstly, SYTERRE thinks in terms of industrial and territorial ecology (ITE) and not only on the concept of industrial ecology and industrial symbiosis. The main key points of the ITE and those SYTERRE focuses on are:

- ITE relates to a territory with all its components of public governance (local authorities or local authorities associations, regions, etc.)
- ITE incorporates public good objectives of general interest (common development, business creation, links between actors, jobs, education, etc.)
- ITE involves various types of partners working on different areas (industrial producers, service companies, communities, farmers, educators, researchers, citizens, etc.).

Another specificity of SYTERRE concerns the kind of synergies mainly sought. The methodology is based on potential values that could be generated from waste.

It is therefore not about seeking neither direct substitution synergies that could be rather simplistic nor pooling synergies only set up in order to "do together".

SYTERRE therefore focuses on the possible transformation of waste to obtain values that maybe correlated with the needs of the territory in terms of raw materials or energy. This approach requires waste transformation activities:

- to change the characteristics of a waste flow to fit the qualitative specifications of a given use;
- to reformat the flow dynamics by consolidation, concentration, "available for the market" so the new flow fits the user's needs;

- to build a combination of several different and complementary flows to reach the specifications required (adjustment of calorific value, humidity, nutrient levels in the compost, synergy between acids and alkalis, etc.).

This methodology also requires a reflection on the mobilization of existing industries or the creation of new industries. It can thus contribute significantly to the development strategy of the territory.

2. The Syterre Methodology

General overview of the method in 5 steps

The SYTERRE methodology applied to a territory is based on five main steps:



2.1 Analysis of the general needs and policy of the Territory

The territory analysis is a key step to get a better understanding of the initial situation and the specificities of the territory on several points: key actors, geography, economic organization, strengths, and weaknesses, among others.

To understand the contractors' needs is also essential to incorporate these contractors early on in the

process. Their expectations can be defined by a global policy strategy and/or by very specific objectives.

This consideration has implications on the choice of the processing industries and on the development of waste management scenarios. The analysis of the territory is also interesting to pre-identify and even map actions to put focus on; and to consider the competition and even the contradictions between future developments. Priority shall be given the only actions providing real non-destructive value for existing systems.

2.2 Data collection

SYTERRE requires a precise knowledge about waste considered in the study. This knowledge can result from several approaches that can be combined:

- specific field surveys of selected participating producers (type of waste ,classification, status, analysis, quantities, frequency, storage mode, current processing industry)
- a phase of global screening of the territory on the basis of declarative inventories of local actors (classification of waste in an existing reference guide as the European Waste List)
- statistical evaluation with current wastes production rates (for example biowastes from restaurants and canteen production rates) and local data (number of industries and their typologies, etc.).

Each method has advantages and disadvantages. Personal inquiries provide specific knowledge but are time/money-consuming and depend on the cooperation of the interlocutors. Using production rates do not give specific

knowledge but a good global appropriate evaluation if relevant statistic data available.

Further details on waste characteristics can then be provided, whether by sampling and laboratory analysis or by using data from the literature and academic research.

2.3 Waste to potentials of values

The transcription of wastes to potential values enables stakeholders to identify the wastes like new potentials resources. It helps to understand how waste can be processed to give secondary raw materials and/or create several types of energies.

All the potential values from a waste cannot be operated simultaneously. The stakeholders should make choice by selecting preferred values (or preferred type of processing).

For example, waste card boards have a thermal energy potential (through incineration), a thermal and electrical energy potential (potentially obtained by anaerobic digestion and cogeneration), a biogas energy potential (by anaerobic digestion and injection into the natural gas network), a recycling potential (by recycling cardboard material), and finally a potential compost (by composting with other biowastes). But, the same cardboard waste can follow only a single processes chain of using one of these potentials and a choice must be made.

2.4 Scenarios construction including GIS

The potential values of a waste make it possible to orient the waste to the processing industry that could exploit this potential.

The processing industry then transforms this potential into real value(s).

Input criteria (minimum and/or unacceptable) must be taken into account for each processing sector existing in the study. They allow, in addition to estimate the potential values, to validate the hypothesis of orientation of a given waste towards a specific processing sector (e.g., a waste with interesting calorific value but explosive properties cannot be upgraded in solid fuel recovery).

Several scenarios of waste management and value production are created. For each scenario, a waste considered in the scenario follows only one waste treatment path to translate its potential to value. All scenarios may not take into account the same types of waste. This depends on the choices and priorities of the local actors.

This scenario construction is carried out taking into account the following aspects:

- Considering potential values of waste associated to appropriate treatment
- Considering political priorities based on a decision tree to choose the order of the treatments (first “produce compost” or first “produce fuel” or...)
- With the integration in a Geographic Information System (GIS) to look for the “ideal” location of treatment plants to be created. The mapping is also a tool to promote and position the principal actors on the territory.

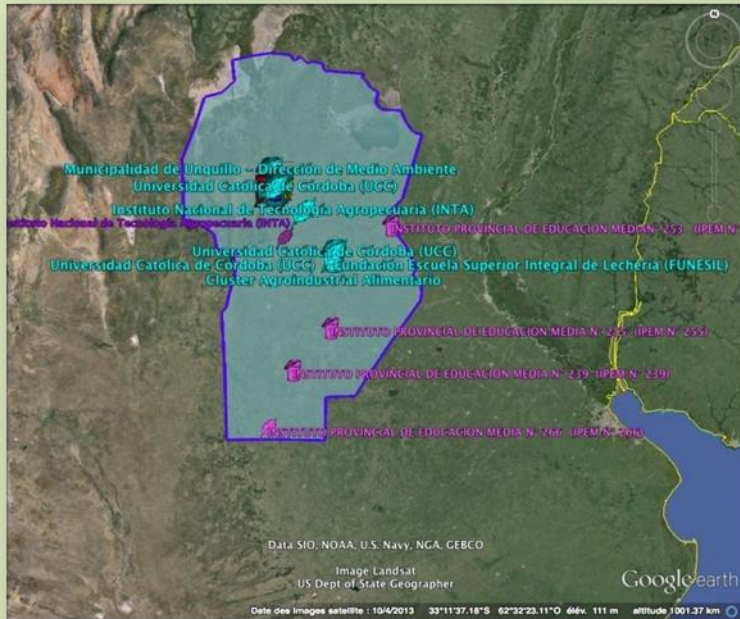


Figure 2 : Mapping example of actors on the territory of Córdoba

- Performance (efficient production of values for the territory)
- Economy (investment and operational costs)
- Environment (based to Life Cycle Analysis with the software SimaPro®)
- Social aspects.

For each family the criteria have to be adapted to the context of the study in order to better meet the territorial issue. For each family, a partial aggregation of the criteria help to avoid systematic offsetting effect of good and bad aspects of a case. A weighting of the criteria may be performed based on sensitivities of contractors.

2.5 Analysis and comparison of scenarios

The scenarios comparison is based on a multicriteria analysis. Each scenario is evaluated using 4 sets of criteria:

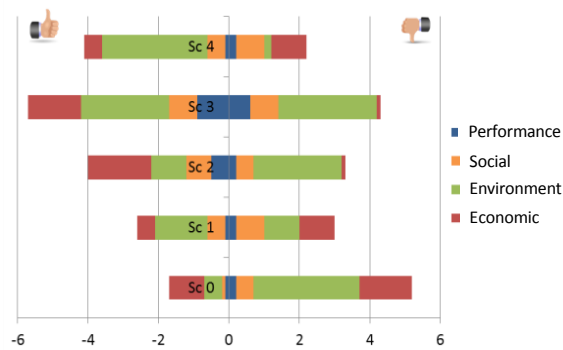


Figure 3 : Examples of schematic profiles of multicriteria analysis results

3. Adaptation of local context with different means and tools

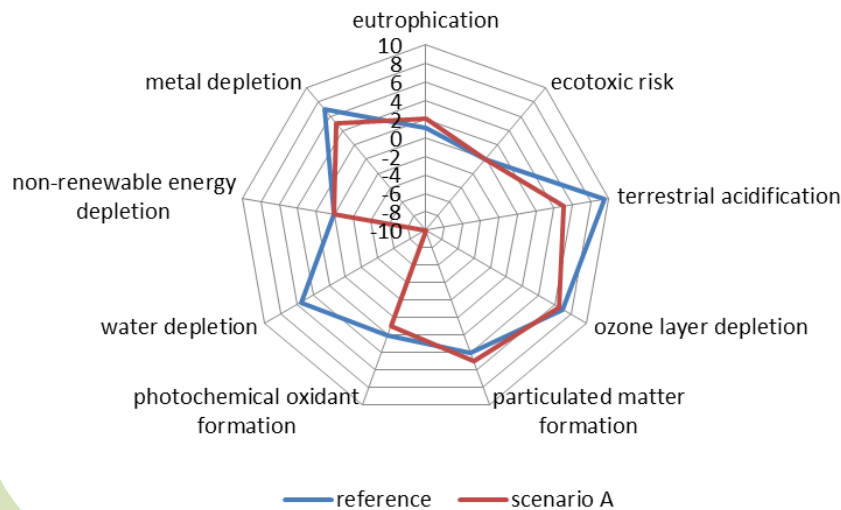
3.1 Specific dynamics of stakeholders' networks

In addition to the general needs and policy of the Territory, specific dynamics of stakeholders' networks should also be examined. For example, a group of industrials may need a local energy production solution and are willing to invest in a project if that it meets their needs. It would be a shame not to give priority to studying the scenario with energy from waste production.

3.2 Integrating specific disposition for given flows or treatment opportunities

Adaptation to local context requires studies taking into account of local management of specific waste. Several types of situation can be studied for example:

- The presence on the territory of waste, management of which is currently a problem and for which an appropriated treatment solution is highly sought after.
- A project already under study for a local implantation of a waste treatment processing unit. It is important that this ITE study takes into account the already in place territorial projects to anticipate and avoid potential



competition problems (related to the supply of waste or to market opportunities for local created values or to improve it with new possibilities not yet considered.

- Local waste treatment actors. How they can be connected or incorporated into the project by studying their potential changes is considered. They can also be taken into account so that the project does not interfere with their current market. For example, waste which is managed by these sectors could not be included in the construction of scenarios.

Once again one of the objectives of this study is taking into account local specificities early in the project with the aim of proposing solutions adapted to the local context and not to building scenarios “disconnected” from realities in the field.

3.3 Using local data with the cooperation of the waste collectors

Sometimes, the data collection by inquiries and using of ratio is not good enough. It is also possible to seek the cooperation of the local waste collectors. They have indeed a very good knowledge of the area and the wastes they collect and they often manage their treatment internally or externally with another industrial. They have this double technical and business knowledge dimension.

Then, one should consider, case by case, the type of interesting data they can provide while respecting the confidentiality clauses. The data can be aggregated by waste type, by sector, or by common type of producer.

They may have an interest in being involved early in the project as they will be asked later to possibly implement

actions that would be retained. Then they could gain a competitive advantage.

3.4 Integration of data from specific waste characterization: case of Municipal Solid Waste

Municipal Solid Waste (MSW) can also be taken into account in the methodology SYTERRE. But this waste type is often not well known and poorly characterized (especially due to its high heterogeneity). To have better knowledge of the composition of MSW, it is possible to achieve characterization campaigns.

These characterizations can also be performed to meet other objectives, for example:

- to raise awareness among the public of the importance of the separated collection of waste,
- To opt for a waste management scenario (waste sorting , recycling, composting, anaerobic digestion, production of Solid Recovered Fuel (SRF), landfilling),
- To size a sorting center or a waste recovery unit,
- Etc.

The first step is the identification of the possible causes of variability in municipal waste composition and the definition of the protocol consistent with the objectives:

- Study of socio-economic organization of the city: hotels, commercial and administrative areas, habitat types, hospitals, etc.
- To identify the exceptional occurrences that would significantly change the waste quality and quantity (season, tourism, major festivities, etc.)

- Dividing the territory by sectors according to choice typologies (urban, rural,...) and time periods of characterization selection
- Choice of the number of samples by sector (as a minimum of 5 samples to obtain an average for each sector)
- Choice of the mass of the samples.

The realization of the characterizations on site takes place in two principal stages: the sampling and the sorting of samples. Sorting of waste is often preceded by a step of size separation (allowing among other things to optimize the length time of sorting).





Figure 4 : Some pictures of waste characterization campaigns

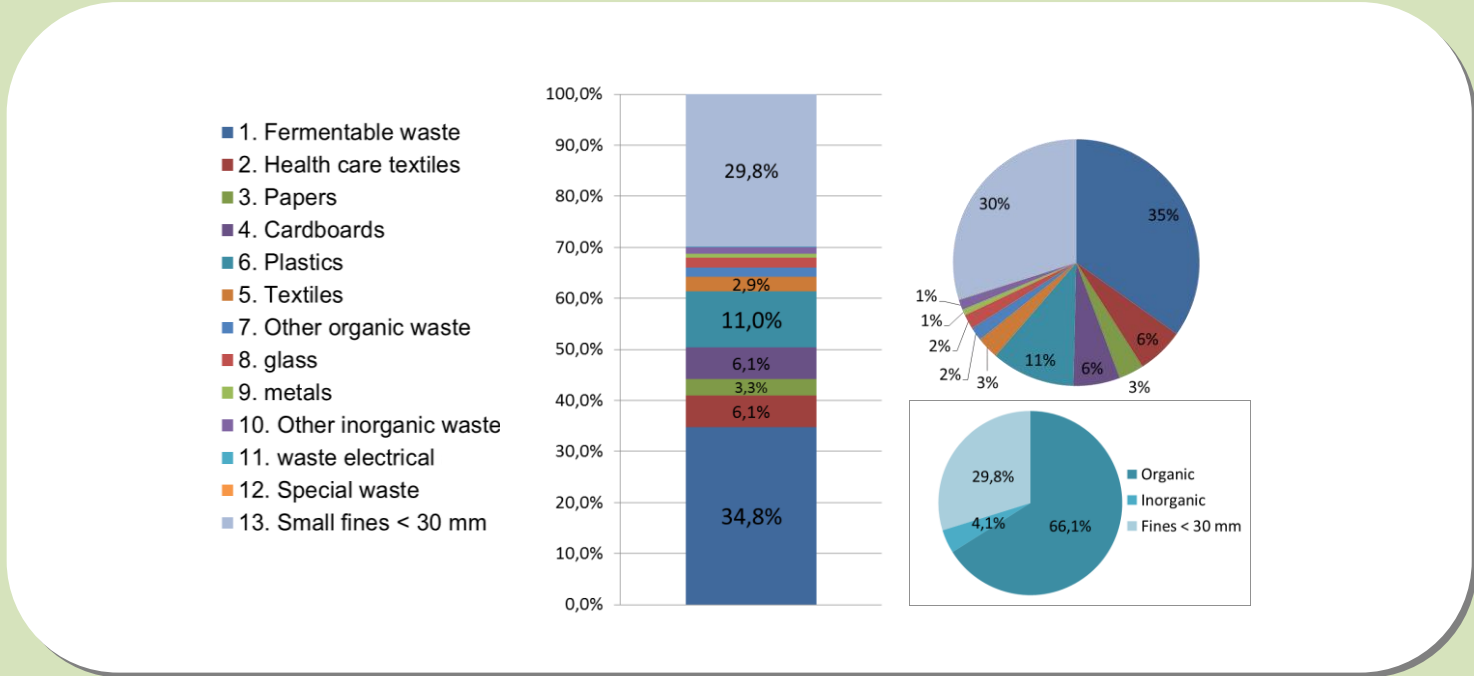


Figure 5 : Examples of graphic presentations of characterization results

4. Conclusions

SYTERRE has been developed to help local authorities and/or industrial actors to consider the best scenarios of waste management as resources production for the territory. It allows to integrate different kind of wastes (industrial, municipal, agricultural wastes), different ways of treatment (existing or to be created) and takes into account the specific needs and policy of the territory. Through geographic representation and

multicriteria analysis, the objective is to give to the local actors the decision keys of their own sustainable development and resources management.

References

- Erkman S. 2004. Vers une écologie industrielle. C.L. Mayer. 251p. 2004. ISBN: 2-84377-088-2.
- Méhu J, Bonnet J, Maisonnier B, Léon J, Dassier D. «SYTERRE (Synergies TERRitoriales des REssources): identification et qualification environnementale de scénarios de production de nouvelles ressources en énergies et en matières premières à partir d'un diagnostic territorial ». Colloque E3D 21-24 mars 2012.
- Harpet C, Blavot C. Ecologie industrielle et territoriale, cadre théorique, concepts clés, principes méthodologiques, applications industrielles, références et bibliographie, Revue Techniques de l'Ingénieur, Base documentaire Environnement, Rubrique Déchets, dossier «Ecologie industrielle: la gestion des matières premières secondaires dans le métabolisme territorial; illustrations» 12 p. Juin 2010.
- Harpet C, Gully E. 2013. Revue *Déchets, Sciences et Techniques*, «Écologie industrielle et territoriale: quels outils d'aide à la décision? De l'analyse des flux à l'approche intégrée». N° 63. Avril 2013.
- Harpet C, Gully E, Blavot C, Bonnet J, Méhu J. 2013. «Seeking industrial synergies and cooperations research program on a territory: the case of Chemichal Valley in France». Harpet C., Gully E., Blavot C., Bonnet J., Méhu J., in *Industrial Ecology, An International Journal (PIE)*, A special issue "The Role of Environmental Management in Industrial Ecology". Inderscience publishers. June 2013.
- Bonnet J, Naquin P, Sarrazin B, Follet S. «Conception et rédaction d'un guide, d'outils associés et de pages internet pour la mise en œuvre d'une campagne locale de caractérisation des déchets ménagers et assimilés». Etude réalisée à la demande de l'ADEME, par INSAVALOR plateforme PROVADEMSE en collaboration avec TERRA SA et GV Création, courant 2014 (étude en cours).

EL MODELO CATALÁN DE GESTIÓN DE RESIDUOS. IMPULSO A LAS TECNOLOGÍAS DE DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA RECOGIDA SELECTIVAMENTE Y DE LA MATERIA ORGÁNICA CONTENIDA EN LA FRACCIÓN RESTO DE LOS RESIDUOS MUNICIPALES.

Daniel Vilaró Casalinas

*Oficina Técnica de infraestructuras, Agencia de Residuos de Cataluña⁷
Barcelona, España*

Resumen

El presente documento de presentación trata de dar a conocer de forma más concreta la experiencia obtenida en los últimos años en Cataluña respecto a la implantación de procesos de digestión anaerobia para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos, tanto por lo que se refiere a residuos orgánicos procedentes de sistemas de recogida selectiva (separación en origen) o bien de residuos orgánicos obtenidos por separación mecánica de la llamada fracción resto de los residuos sólidos urbanos (mezclados).

En primer lugar se presenta el contexto en el que se encuentra Cataluña y su singularidad en el marco del Estado español y de la Unión Europea.

Seguidamente se explica de forma general el modelo de gestión de los residuos de origen municipal en Cataluña, partiendo desde la jerarquía de gestión establecida hasta los modelos de recogida y flujos de residuos a tratar. Se exponen así mismo los datos básicos estadísticos de generación y recogida selectiva en 2012 (último ejercicio cerrado), entre otros datos relevantes en lo que se refiere a la gestión de los residuos.

Tras la presentación de contexto y modelo, se desarrolla la explicación detallada de los proyectos de instalaciones que han sido implantados en los últimos años en Cataluña. Se hace referencia no solo a los éxitos conseguidos sino también a la problemática de operación de algunos de los primeros proyectos desarrollados y las soluciones que han

⁷ Gobierno de Cataluña

sido planteadas en cada caso, con mucho esfuerzo tanto técnico como económico. Se incluye también la explicación sobre los desarrollos tecnológicos de los últimos proyectos construidos, los cuales ya reflejan importantes diferencias de diseño respecto de los primeros, con objeto de evitar la aparición de problemas ya detectados anteriormente.

Palabras clave

Residuos Municipales (RM): Aquellos residuos que son recogidos por los servicios públicos de recogida urbana, generados en el ámbito doméstico y del pequeño comercio.

Recogida Selectiva (RS): Aquellas fracciones de residuos que se recogen de forma separada en origen. En Cataluña son la fracción papel-cartón, orgánica, vidrio y envases ligeros.

Fracción Resto (FR): Aquella fracción residual de los residuos municipales que no está separada en origen. La fracción que queda una vez realizada la recogida selectiva.

Fracción Orgánica (FORM): La fracción orgánica de residuos municipales que se recoge en origen de forma separada, en contenedores específicos.

Introducción

Cataluña es una de las regiones con mayor desarrollo económico y social dentro del Estado español. Con una población entorno a los 7.5 millones de habitantes y poco más de 32.000 km² de superficie, Cataluña ha adaptado de forma singular el modelo de gestión de residuos de los países ambientalmente más avanzados de la Unión Europea.

La Agencia de Residuos de Cataluña es una empresa pública que pertenece al Gobierno de la Comunidad

Autónoma de Cataluña, dependiendo directamente del Departamento de Territorio y Sostenibilidad. Su actividad se centra en el ámbito de la gestión sostenible de los residuos, con tal de garantizar la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos y la protección medioambiental.

Las áreas de competencia de la Agencia abarcan tanto los flujos de residuos municipales, como los industriales, de agricultura, ganadería, construcción, sanitarios y la regeneración de suelos contaminados. Quedan excluidos (siendo competencia del gobierno del Estado) los residuos radiactivos y explosivos.

Partiendo de las políticas generales que, de forma normativa, establece la Unión Europea, la mayor parte de las competencias en lo que se refiere a gestión de residuos son transferidas desde el Estado español a las Comunidades Autónomas. Así, el Gobierno de Cataluña, mediante la Agencia de Residuos de Cataluña, ejerce competencias en lo referente al desarrollo de legislación, diseño de políticas y planes de gestión, planificación y desarrollo de infraestructuras, autorización de gestores y transportistas de residuos, inspección y control de actividades, entre otras.

El modelo de gestión de residuos en Cataluña tiene como referencia la jerarquía de gestión de residuos que establece la Directiva marco de residuos de la Comunidad Europea (98/2008/CE), y que se resume en la siguiente figura:



Actualmente en Cataluña los pilares fundamentales del modelo son la prevención, el desarrollo de la recogida selectiva para maximizar el reciclaje de materiales, y el tratamiento del 100% de los residuos antes de su disposición final.

En lo referente a los resultados actuales de gestión de residuos municipales, en 2012 la generación per cápita descendió hasta 1,35 kg/hab./día, siendo la generación total de 3.731.436 t de RM. Esto supone una reducción superior al 7% en el último año, y una reducción acumulada del 12% respecto al año 2008. Si bien se refleja en cierto modo la crisis económica, también existe un esfuerzo creciente en promoción de estrategias de prevención de la generación.

En 2012 la Recogida Selectiva (RS) alcanzó 1.457.569 t, el 39,1% del total de RM. Este valor incluye la suma de los flujos recogidos de forma separada, que engloban la fracción papel-cartón, vidrio, envases ligeros y fracción orgánica. El

valor complementario (60,9%) corresponde a la llamada fracción resto de residuos municipales, con un total de 2.273.867 t.

La evolución del ratio de RS en los últimos años se refleja en la siguiente gráfica:

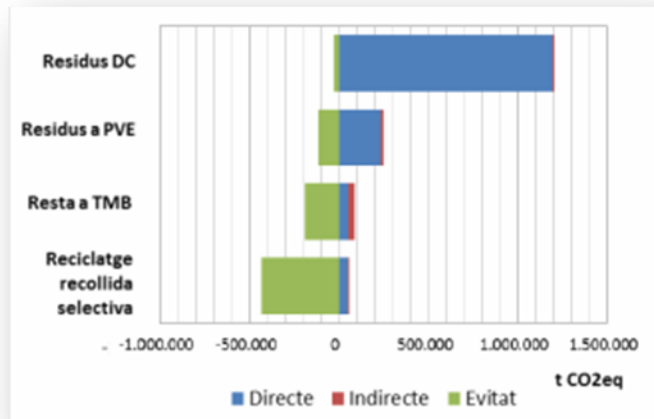


Uno de los aspectos clave de la política actual de gestión de residuos, derivado también de las obligaciones normativas, es conseguir el tratamiento del 100% de los residuos que se generan de forma que no se deposite en vertederos ningún residuo que no haya sido previamente tratado.

En lo que se refiere a la afectación al cambio climático, cabe destacar que la gestión y tratamiento de los residuos municipales contribuye de forma significativa a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), expresadas en unidades de CO2 equivalente (CO2eq). El sector de gestión

de residuos puede suponer una vía de reducción de las emisiones de GEI gracias a la valorización material y energética de los residuos.

De acuerdo con un estudio reciente, en Cataluña la huella de carbono es de 110 kg CO₂eq por habitante, o bien 223 kg CO₂eq por tonelada de RM. El estudio refleja como mejor opción de gestión el reciclaje, en términos de balance de impactos, siendo el depósito controlado la peor de las vías de gestión tal y como se refleja en el gráfico:



Desarrollo

La digestión anaerobia (DA) tiene un papel importante en el modelo de gestión de residuos orgánicos en un contexto de crisis y dependencia energética (98% en Cataluña incluyendo importación de combustibles fósiles).

Es una tecnología que aporta solución a dos problemáticas: generación de energía y gestión de los residuos.

Es la tecnología de tratamiento de residuos orgánicos más efectiva en términos de balance de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Mejora los outputs del proceso dado que el biogás es un producto de alto valor y puede ser usado en distintas aplicaciones (calor, cogeneración, biofuel para uso directo en flotas de vehículos, inyección en red, etc.).

La tecnología de digestión anaerobia permite disponer de una fuente de energía renovable con capacidad de producción constante (no como en los casos de la energía eólica o solar). Además, la energía puede ser almacenada (en forma de biogás) para su uso posterior en función de la aplicación deseada.

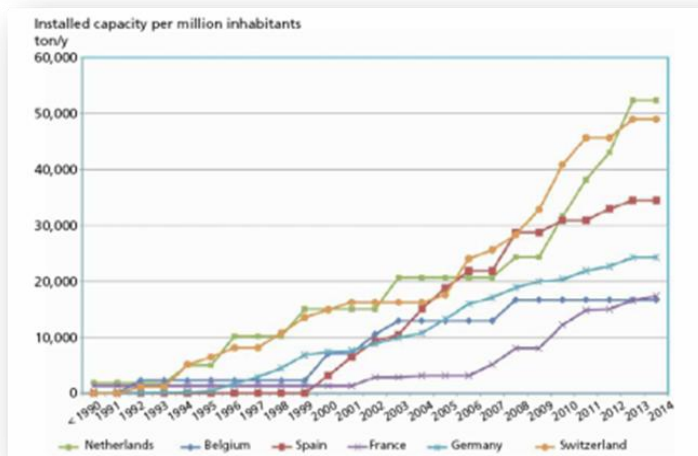
Se trata de un sistema que puede ser implantado de forma relativamente fácil en plantas existentes de compostaje, permitiendo el incremento de su capacidad y la mejora significativa de su balance energético.

Respecto a la situación de la tecnología en Europa, la DA ha evolucionado más que ninguna otra tecnología para tratamiento de residuos orgánicos en los últimos 20 años. De acuerdo con un estudio reciente (*Luc de Baere & Bruno Mathews*), existen actualmente en Europa 244 plantas para tratar cerca de 8 millones de toneladas anuales. Esto supone una cuota de alrededor del 25% del tratamiento biológico de residuos orgánicos.

Las perspectivas para la tecnología en los próximos años indican el mantenimiento de su crecimiento, teniendo en cuenta las necesidades energéticas crecientes, así como otros

aspectos como el potencial de reducción de olores y los relativamente bajos requerimientos de superficie que implica su implantación.

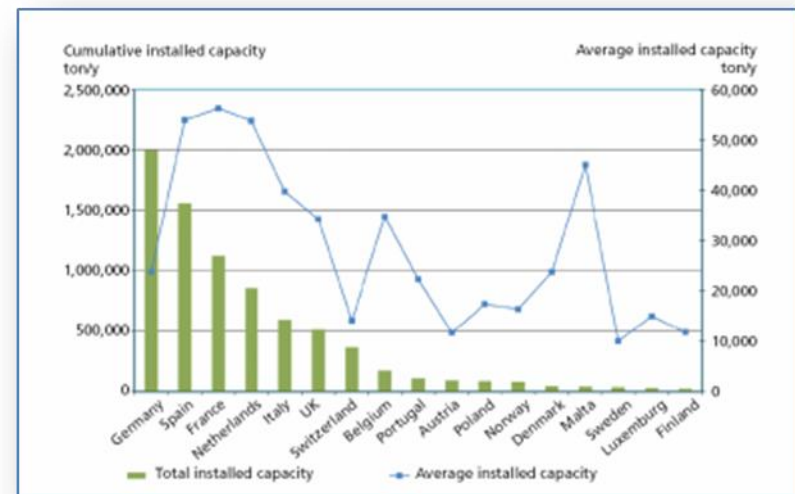
En la gráfica siguiente se puede ver la evolución de la tecnología en las últimas dos décadas, en términos de capacidad anual instalada por millón de habitantes:



La capacidad media de las instalaciones existentes en Europa es de 31.700 t/a, si bien existe un rango muy amplio de capacidades, principalmente entre 10.000 a 60.000 t/a.

Desde una perspectiva económica, la capacidad debería ser superior 30.000 t/a. Este dato se debe tomar solo en términos generales, pues debe estudiarse en cada proyecto las condiciones de entorno, que pueden afectar de forma significativa a la economía de escala.

Así mismo, parámetros geográficos y políticas económicas de cada país influyen también en gran medida en el tamaño de las instalaciones. En la siguiente gráfica se refleja, por países de la UE, la capacidad total instalada así como la capacidad media de las instalaciones, pudiendo observar en este último dato diferencias muy significativas entre países:



Las tecnologías y procesos de digestión anaerobia pueden ser clasificados de distintas formas, en función de la temperatura de proceso, la proporción de materia seca en los digestores, en número de etapas, flujos, disposición de digestores, etc. En este sentido se muestran los datos actuales del conjunto de instalaciones existentes en Europa, siendo el valor % la proporción (*share*) actual por procesos:

Termofílico (50-55°C) vs. Mesofílico (35-40°C) -33% vs. 67%-
 Vía seca (>15%MS) vs. Vía húmeda (<15%MS) -38% vs. 62%-

Mono-etapa (combinada) vs. Multi-etapa (hidrólisis + metanización) -93% vs. 7%-

Mono-flujo vs. Co-digestión -89% vs. 11%-

Biorresiduo (Recogida selectiva) vs. Residuo mezclado (separación mecánica) -55% vs. 45%-

De acuerdo con la experiencia adquirida en Cataluña tras desarrollar diferentes proyectos con diferentes tecnologías y distintas combinaciones de procesos, se puede decir que de forma general la clave para un proyecto sostenible con garantías de funcionamiento óptimo a largo plazo es asegurar una alimentación de material orgánico de calidad.

Esta alimentación de material de calidad se puede conseguir en mayor medida mediante la separación en origen de los residuos orgánicos (recogida selectiva). La obtención de materia orgánica de residuos mezclados (separación mecánica) permite obtener una materia orgánica más contaminada, hecho que dificulta los procesos posteriores de digestión.

En Cataluña han sido desarrollados siete proyectos de infraestructuras de digestión anaerobia de residuos orgánicos en los últimos 15 años, tanto para residuos procedentes de recogida selectiva como para residuos mezclados. Actualmente se dispone de una capacidad total instalada de alrededor de 300.000 t anuales (materia orgánica entrada a proceso de DA), incluyendo los últimos proyectos que se

encuentran en su fase inicial de puesta en marcha. En 2012 se produjeron cerca de 70 GWh de energía eléctrica, principalmente mediante sistemas de cogeneración mediante biogás.

Las capacidades unitarias de DA (por planta) se encuentran entre las 20.000 t y las 90.000 t anuales.

Los primeros proyectos

Los primeros proyectos surgen en el entorno del Área Metropolitana de Barcelona a finales de la década de los 90. En ese momento los índices de recogida selectiva son todavía muy bajos y no se recoge de forma selectiva la materia orgánica. La gestión se concentra en un gran vertedero (Garraf), instalación con mucha contestación social y a la que le queda poca vida útil. La incineración solo cubre una parte de la gestión, aproximadamente el 30%, en una única instalación.

Entre los primeros planteamientos se baraja la construcción de una gran incineradora nueva, solución que finalmente es descartada por la amplia oposición y la falta de acuerdos políticos. Finalmente se plantea una solución mixta: promoción de recogidas selectivas (papel-cartón, vidrio, envases ligeros y fracción orgánica) y construcción de plantas de tratamiento mecánico y biológico (TMB), manteniendo la capacidad de incineración existente. Surgen los llamados ecoparques.

Los primeros ecoparques del Área Metropolitana de Barcelona parten del esquema general que pretende la obtención de materiales reciclables y de energía (biogás) de la materia orgánica separada mecánicamente de la fracción resto.

Respecto de la fracción orgánica recogida separadamente en origen (FORM) se plantea compostaje para obtención de compost de calidad.

Ecoparque nº1:

El ecoparque nº1 ubicado en Barcelona se pone en servicio en el año 2002, con una capacidad de tratamiento entorno a las 250.000 t anuales. Dispone de sistemas de digestión anaerobia (vía húmeda) y de compostaje, destinados al tratamiento de fracción resto y fracción orgánica de residuos municipales.



Tras los primeros años de explotación, se observan diversas patologías significativas en el funcionamiento de la instalación, en lo que se refiere a los procesos de digestión

anaerobia: en primer lugar, se observa cómo la producción de biogás decae notablemente, mostrando también otros parámetros de la planta resultados anormales.

El material digesto extraído contiene una gran cantidad de áridos, que provocan problemas en la deshidratación. La purga de flotantes registra obstrucciones. Se reproducen problemas en la agitación interna de digestores. Se constata la existencia de una costra superior que provoca que las lanzas de inyección de biogás se deformen.

Tras la observación de dichas patologías, el diagnóstico indica lo siguiente: La criba húmeda y el depósito de hidrólisis/trampa de áridos no son eficientes. El sistema de agitación del digestor es incapaz de evitar la formación de un depósito de sedimentos (áridos pesados). La sedimentación de fondo provoca problemas en el bombeo y la recirculación. Los problemas de agitación consolidan la formación de conglomeraciones por flotación en la zona de contacto con la cámara de gases.

Se concluye así la necesidad de reducción de entrada de inertes al digestor, absolutamente necesario para conseguir eficiencia de los sistemas de agitación. Se debe impedir la reducción de la carga orgánica en los digestores, solucionar los problemas de mecánica de fluidos y, en definitiva, conseguir una mejor garantía de disponibilidad y funcionamiento de la planta.

Se requiere una reingeniería de todo el conjunto del proceso, la cual supone principalmente la orientación de sistemas de digestión anaerobia para flujos orgánicos de calidad (de recogida selectiva), dejando para estabilización mediante compostaje (aerobio) los flujos con elevado nivel de

impropios (de residuo mezclado). La reforma incluye así mismo la implantación de un nuevo sistema de pre-fermentación en tambores rotativos y la mejora del sistema de pretratamiento húmedo del proceso de digestión anaerobia.

Ecoparque nº2:

El ecoparque nº2 ubicado en Montcada i Reixac se pone en servicio en el año 2004, con una capacidad de tratamiento en torno a las 270.000 t anuales. Dispone de sistemas de digestión anaerobia (vía seca) y de compostaje, destinados al tratamiento de la fracción resto y fracción orgánica de residuos municipales.



Tras los primeros años de explotación, se observan diversas patologías significativas en el funcionamiento de la instalación, en lo que se refiere a los procesos de digestión anaerobia:

Se observan síntomas de acumulación de sólidos inertes en el digester. Estos se reproducen mediante problemas asociados a su agitación interna. Se produce la disminución de carga orgánica. Se registran sobrecargas significativas de presión en el digester, llegándose a producir afectaciones estructurales. Los problemas derivan en la necesidad de intervención constante.

Entre las principales intervenciones realizadas, se modifican los sectores de agitación. Se acorta el muro divisorio interior del digester, instalando medidores de nivel a ambos lados del muro, así como transmisores de presión para detección de atascos.

Finalmente se interrumpe la alimentación de materia orgánica, siendo necesaria la ampliación de la zona de compostaje. Se requiere el vaciado de los digestores para su reparación.



Se concluye el proceso de análisis con la necesidad de reducir la entrada de inertes al digestor, demostrándose que el sistema de agitación del digestor no es lo bastante eficiente en estas condiciones.

Deben tomarse medidas para impedir la reducción de la carga orgánica en los digestores, así como los problemas de mecánica de fluidos que acaban repercutiendo en mayores costes y en menor disponibilidad de la planta.

De nuevo, se requiere un nuevo concepto de planta mediante su reingeniería. Esta se basa en la orientación de sistemas de digestión anaerobia para flujos orgánicos de calidad (de recogida selectiva), dejando para estabilización mediante compostaje (aerobio) los flujos con elevado nivel de impropios (separados por medios mecánicos).

Ecoparque nº3:

El ecoparque nº3 ubicado en Sant Adrià de Besós se pone en servicio en el año 2006, con una capacidad de tratamiento entorno a las 300.000 t anuales. Dispone de sistemas de digestión anaerobia (vía húmeda), destinados al tratamiento de fracción resto de residuos municipales. Como particularidad añadida, se ubica en un entorno sensible urbano muy próximo a zonas habitadas, disponiendo de muy poco espacio para su implantación en la cabecera de una planta incineradora existente.



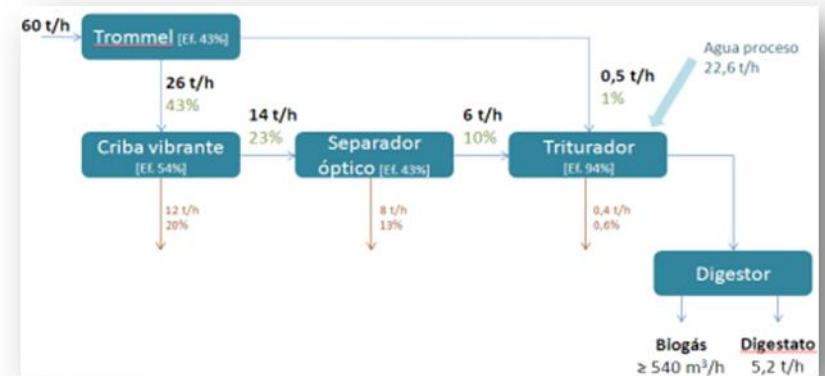
Se observan también tras su puesta en servicio problemas de eficiencia insuficiente de los sistemas de pretratamiento y separación mecánica de la materia orgánica, derivando en la acumulación de inertes en los digestores. La operativa de la planta se torna compleja y costosa, con elevados costes energéticos y de mantenimiento.

Se registra una baja disponibilidad del sistema, y se producen algunas dificultades de higiene laboral.

Se fijan como objetivos para su mejora la optimización de las etapas de pretratamiento en seco, intentando minimizar la presencia de inertes y ajustando los costes derivados.

La solución planteada incluye un nuevo sistema de criba y separación automática de la materia orgánica (mediante nuevos equipos de acuerdo al esquema adjunto a continuación), consiguiendo una menor cantidad de materia

pero sobre todo una muy menor proporción de materiales llamados impropios que son los que generan la problemática en el sistema.



Los proyectos recientes

Los proyectos de más reciente implantación en Catalunya ya incorporan mejoras técnicas en el diseño que permiten reducir en buena medida los problemas observados en otras instalaciones existentes.

CTR Maresme:

El CTR Maresme, ubicado en un polígono industrial en Mataró, se pone en servicio en el año 2012 con una capacidad de tratamiento en torno a las 190.000 t anuales. Dispone de sistemas de digestión anaerobia (vía húmeda) y de estabilización aerobia, destinados al tratamiento de la fracción

resto de residuos municipales. Se integra en una instalación de incineración existente como tratamiento previo.



Una de las principales modificaciones es que su sistema de digestión anaerobia tan sólo se dimensiona para el 40% de la materia orgánica (la de mejores condiciones), siendo derivado el otro 60% a un sistema de estabilización aerobia situado en paralelo.

Respecto al proceso anaerobio, se instala un sistema técnicamente avanzado de pretratamiento húmedo para adecuar la materia orgánica que se alimenta a los digestores, incluyendo sistemas de hidrociclón para mejorar la separación de material inerte. En cabecera se instala una criba vibrante de 20mm de diámetro con objeto también de separar de la

corriente orgánica materiales finos que podrían ser acumulados en los digestores.

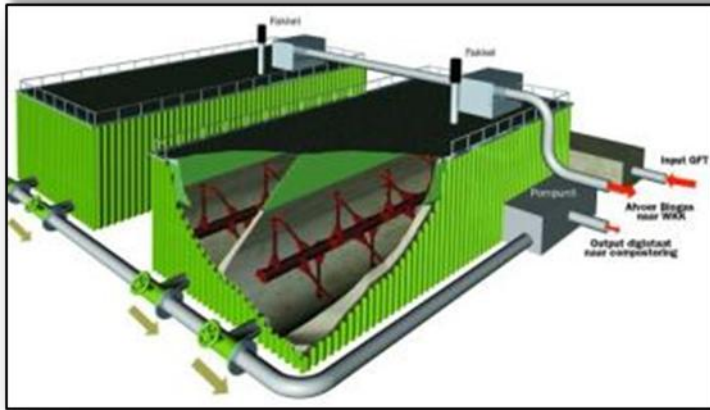
CTR Baix Camp:

El CTR Baix Camp ubicado en Botarell se pone en servicio en el año 2011, con una capacidad de tratamiento entorno a las 100.000 t anuales. Dispone de sistemas de digestión anaerobia (vía seca) y de estabilización aerobia, destinados al tratamiento de fracción resto y fracción orgánica de residuos municipales.



Como diferencia relevante respecto a anteriores proyectos, incluye digestores en disposición horizontal, con sistemas de agitación mecánica en su interior. El sistema

presenta a priori una menor sensibilidad a la presencia de materiales inertes en el digester.



Entre las mejoras de diseño se incluye su flexibilidad de gestión (entre los dos tipos de flujos orgánicos de mayor y menor calidad). Existe la posibilidad de bypass de la DA en casos de baja calidad de la materia orgánica, derivando el material a proceso de estabilización en túnel.

Asimismo se instala una criba específica para separación de materiales inertes de forma previa al proceso.

Conclusiones

La Digestión Anaerobia debe ser incorporada en el modelo de gestión de residuos orgánicos dado que permite obtener energía renovable además de gestionar los residuos y contribuir al ahorro de emisiones de efecto invernadero.

Es una tecnología madura y tiene amplias aplicaciones industriales, pudiendo ser un complemento ideal en instalaciones existentes de compostaje para su optimización. La calidad de los residuos orgánicos a gestionar en procesos de DA debe tenerse muy en cuenta, no debiendo infravalorar los problemas existentes en proyectos anteriores. Es preferible su aplicación a residuos orgánicos separados en origen (con pocos impropios) si bien, aun así, su aplicación no evita un diseño cuidadoso. Altos niveles de impropios suponen de forma general elevados costes de inversión y operación, así como mayores riesgos en la disponibilidad de la planta.

Años de experiencia han permitido la evolución de la tecnología y facilitan soluciones adaptadas a diferentes flujos y calidades. Una mayor intensidad de pretratamiento permite mayor calidad del flujo a digerir pero supone mayor pérdida de materia orgánica con los rechazos de planta.

En términos generales resulta conveniente disponer en planta de sistemas de compostaje que permitan un diseño flexible de los procesos.

La viabilidad para la implantación de sistemas de digestión anaerobia dependerá de factores como disponer de un marco legal propicio al fomento de la valorización energética de residuos y al sector de energías renovables. Deben disponerse también condiciones y precios de mercado estables y seguros en lo referente al sector energético como al del reciclado de materiales.

El biogás obtenido permite amplios usos como la cogeneración, la inyección en red, el biofuel para vehículos, la generación de calor, entre otros. Deben pues determinarse los

usos previstos para analizar el resultado potencial de cada proyecto.

También deberán ser tenidas en cuenta las economías de escala y de localización, así como realizar una acertada selección tecnológica.

Y cómo no, será necesario disponer de una buena calidad y estabilidad del input de materia orgánica a tratar.

Referencias Bibliográficas

De Baere L, Mattheeuws B. 2012. Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste in Europe – Status, Experience and Prospects. Waste Management, Vol. 3: Recycling and Recovery, pp. 517-526.

Kuehle-Weidemeier M, Balhar M. 2013. Waste-to-Resources – V International Symposium on MBT and MRF (Mechanical biological waste treatment and material recovery facilities) and recycling.

Department of Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). Anaerobic Digestion – Strategy and Action Plan – A commitment to increasing energy from waste through Anaerobic Digestion.

PROCESO INTEGRADO PARA LA CONVERSIÓN DE RSU EN MATERIAS PRIMAS DE ALTO VALOR AGREGADO – EL CONCEPTO “BASURA CERO”

Exequiel Omar Espinosa⁸
Energía 54 S.A
Buenos Aires, Argentina

Introducción

La acumulación y disposición de residuos sólidos urbanos (RSU) es una problemática creciente para la mayoría de los países del planeta desde hace años. La aceleración constante que ha sufrido la producción industrial en serie, el uso de nuevos materiales, el consumo y la rotación como sostenes fundamentales de la economía de mercado, entre otros, están directamente relacionados con la generación de cada vez mayor cantidad de residuos de composición cada vez más diversa. Claramente, estos residuos han sido y serán una gran amenaza fundamentalmente desde el punto de vista ambiental debido a su gran potencial de contaminación del agua, el suelo y el aire.

Afortunadamente, en la actualidad se están desarrollando diferentes alternativas tecnológicas para la transformación de diferentes residuos, como los RSU, para su aprovechamiento como fuentes de energía o de materiales de valor agregado, por ejemplo.

El modelo Basura Cero

El concepto de estrategia y negocio denominado “Basura Cero” tiene como principal objetivo la producción sostenible con “cero” residuos.

Este modelo se fundamenta en una serie de acciones innovadoras estratégicas como las siguientes:

- Aprovechamiento integral de residuos sólidos y líquidos
- Aplicación de tecnologías limpias, innovadoras y de última generación
- Producción de bioenergía y subproductos comercializables
- Tratamiento eficiente de los RSU y efluentes
- Autosuficiencia energética que devenga en sustitución de importaciones
- Recuperación de agua de calidad para consumo o reutilización
- Gestión ambiental integral con tendencia al Impacto Ambiental Cero

⁸ Presidente

Balance de masa

A partir del tratamiento apropiado de los RSU se puede obtener:

Fracción	Componentes	% de los RSU	Productos posibles
Húmeda	Madera	48,67 %	-Biogás
	Residuos de Poda		-Energía Eléctrica
	Desechos alimenticios		-Fertilizantes
	Misceláneos < 12mm		
Liviana	Plásticos	44,88 %	-Combustibles líquidos
	Papeles, Cartones (secos)		-Combustibles sólidos
	Textiles		
	Goma, Cuero, Corcho		-Energía Eléctrica
	Electrónicos		
Vidrios		3,09 %	Productos reciclados con valor de
Inertes		1,81 %	

Metales Ferrosos	1,16 %	mercado
Metales No Ferrosos	0,25 %	
Aerosoles	0,06 %	

Método Industrial de Tratamiento de los RSU

Existen variados esquemas de tratamiento de los RSU, los cuales utilizan diferentes tecnologías dependiendo principalmente de los objetivos perseguidos y de la composición, casi siempre compleja, de los residuos que ahora configuran la materia prima.

Aquí se describirá de manera general el “Proceso Integrado para la conversión de RSU en materias primas de alto valor agregado”, el cual describe las bases técnicas y operativas para la proyección de plantas de tratamiento de RSU que permitan obtener valiosos productos.

A continuación se presentarán las etapas del proceso en el orden en que se van desarrollando a lo largo del mismo.

1) Separación

La primera etapa del proceso consiste en la separación y clasificación de los residuos recibidos en la planta de tratamiento. Esta separación se puede realizar mediante la aplicación en serie de diferentes metodologías como la clasificación manual, separación mecánica y separación

electrostática y/o magnética de acuerdo a los metales presentes.

La etapa de separación produce cuatro corrientes principales que contienen diferentes clases de materiales. Estas corrientes son:

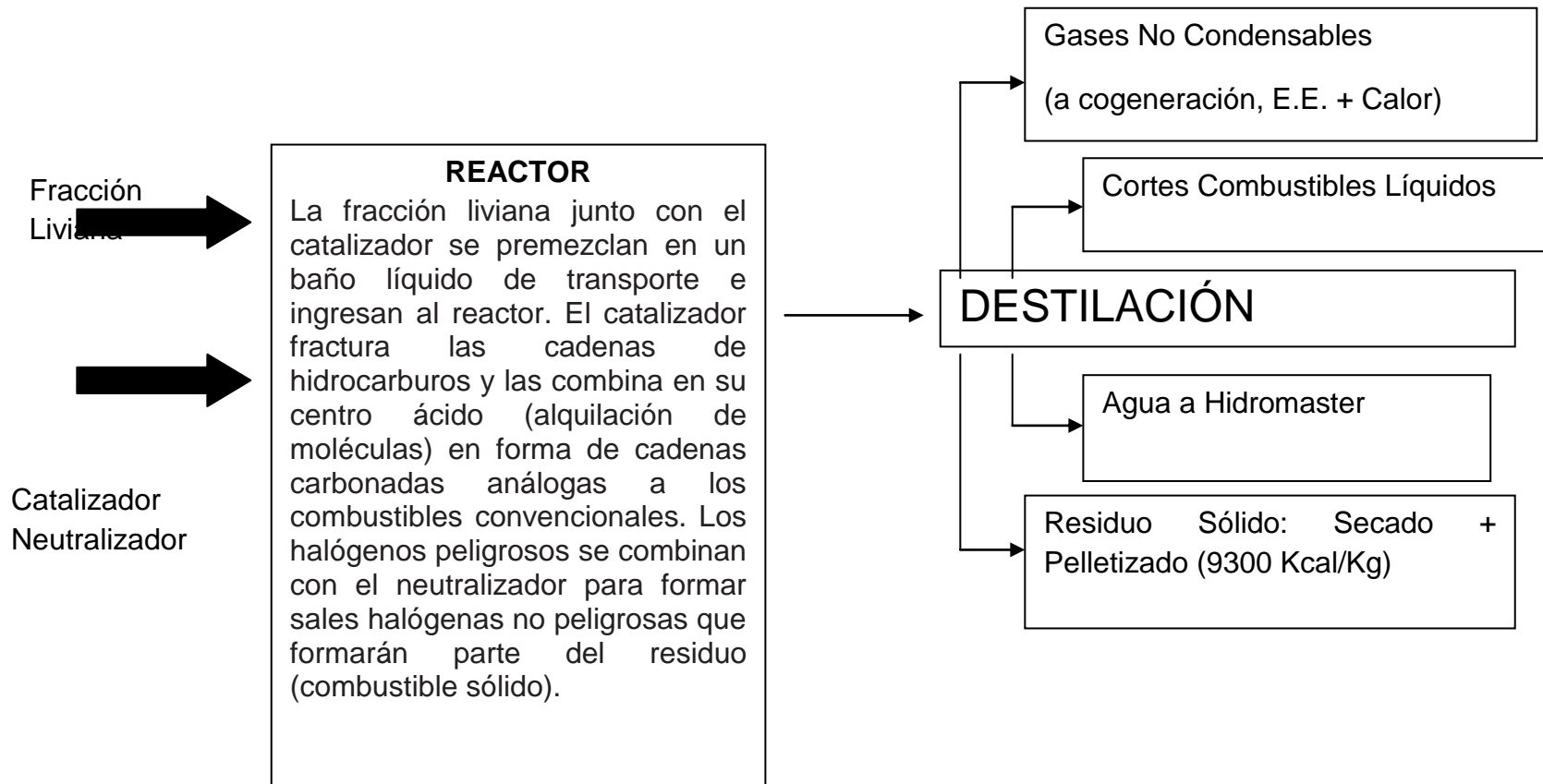
- a) Fracción Liviana:
 - Compuesta por plásticos, papeles, cartones, textiles, goma, cuero, corcho, electrónicos
 - Sufre una *Depolimerización Catalítica*
- b) Fracción Húmeda:
 - Compuesta por madera, residuos de poda, desechos alimenticios y misceláneos <12mm
 - Sufre una *Fermentación Seca*
- c) Efluentes Líquidos:
 - Contiene lixiviados y efluentes de tanques atmosféricos
 - Se trata en el *Hidromaster*
- d) Materiales Reciclables:
 - Contiene inertes, metales ferrosos, metales no ferrosos, vidrio, aerosoles
 - Se les realiza un post-procesado para luego comercializarlos

2) Procesos Principales

Los RSU que llegan a la planta de procesamiento pasan, luego de ser clasificados en la etapa de separación, por diferentes líneas de transformación, cada una de las cuales se sustentan en un proceso fundamental y se aplican a una corriente específica proveniente de la etapa de separación.

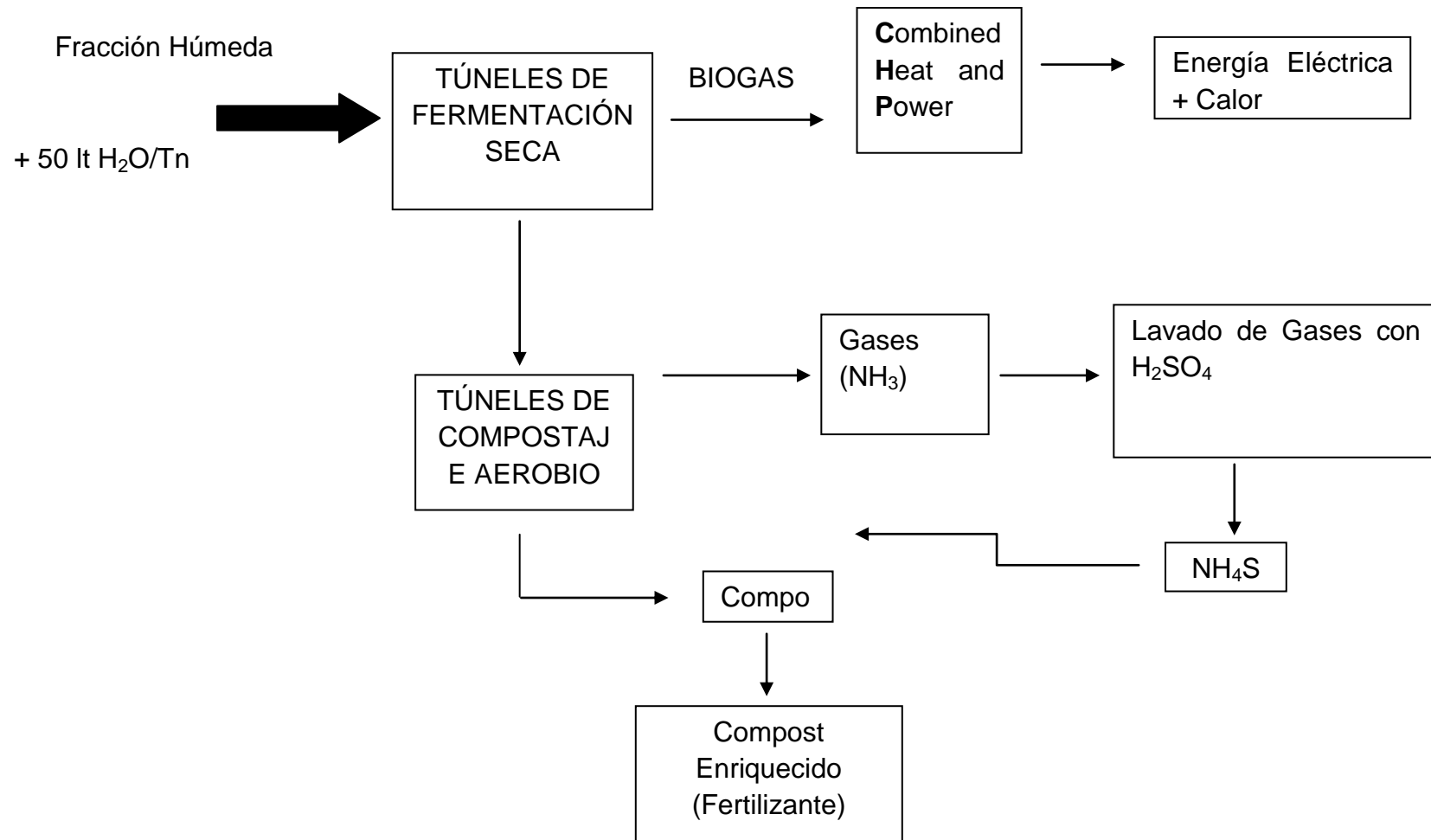
a) Depolimerización Catalítica

La Depolimerización Catalítica es el proceso clave en la línea de tratamiento de la Fracción Liviana proveniente de los RSU.



b) Fermentación Seca

La Fracción Húmeda proveniente de la etapa de separación es sometida a una Fermentación Seca con un mínimo de agregado de agua.



La corriente de Efluentes Líquidos es tratada en un sistema de purificación denominado Hidromaster con el objetivo de obtener agua apta para reutilización en la operación de la planta, o para riego, por ejemplo.

El sistema consta de varias etapas. En primer lugar, el efluente líquido es acondicionado en un módulo donde se realiza un primer tratamiento químico, una decantación, una turbo-separación y un intercambio de calor.

Luego, la corriente acondicionada pasa al Hidromaster propiamente dicho, el cual está conformado también por una serie de sub-etapas. El producto de la turbo-separación ingresa primeramente a un segundo módulo de tratamiento químico, desde donde pasa a la primera etapa de filtrado para la remoción de los precipitados gruesos. A continuación se realiza una ozonización para la oxidación de los metales pesados y un segundo filtrado para separar los precipitados finos.

Finalmente, se aplica un tratamiento con radiación UV para la eliminación de agentes biológicos como bacterias, hongos y virus, y se agregan los aditivos adecuados para el uso específico posterior que se busque para los efluentes tratados.

Ejemplo: Módulo de 1000 Tn/día

Instalaciones: Planta de recepción, clasificación y tratamiento integral de RSU. Capacidad: 1.000 Tn/día = 360.000 Tn/año

Producción:

- Diesel Sintético: 110.000 m³/año
- Energía Eléctrica: potencia instalada de 12.1 MW
- Fertilizantes: 80.000 Tn/año

Tiempo de instalación de la planta: 14 meses

Parámetros de Inversión:

- Inversión: USD 322.200.000
- Facturación estimada: USD 137.600.000 (incluyendo combustibles líquidos, energía eléctrica, fertilizantes y subproductos)
- T.I.R. del Proyecto: 15.11 %
- Período de repago de la inversión: 5,9 años
- Puestos de trabajo directo: 126 (con trabajo en tres turnos)

Beneficios del emprendimiento - Conclusiones

El presente sistema de tratamiento integral de los RSU permite obtener una serie de beneficios en forma tanto de productos de valor como de servicios útiles para distintas actividades, todo ello sumado al beneficio ambiental asociado a cualquier tratamiento eficiente de residuos, que de otra manera significarían un mayor aporte negativo por el efecto

contaminante que conlleva su simple disposición y acumulación.

De esta manera, desde el punto de vista del aprovechamiento energético, se pueden obtener combustibles líquidos de alta calidad a precios convenientes, generación de energía eléctrica en base a fuentes renovables, reconversión de la matriz energética sobre fuentes sustentables que son generadas localmente, lo que trae aparejado un autoabastecimiento energético asociado a una sustitución de importaciones.

Este esquema de procesamiento permite una eliminación física de los recursos que significa una práctica de "0" enterramiento. Las instalaciones están confinadas en su totalidad mediante cortinas de aire, filtros y sistemas de presión negativa, lo que evita la emisión de olores y material particulado.

Naturalmente, emprendimientos de este tipo aportan positivamente a la creación de puestos de trabajo e inversión, causando un efecto socioeconómico multiplicador.

GESTIÓN DE RECURSOS Y GENERACIÓN DISTRIBUIDA

- Proyecto para la promoción de la energía derivada de la biomasa (PROBIOMASA)
-
- Generación de energía a través el uso de biomasa en el sector privado: presentación de casos estudios. La experiencia FIPER
-
- Generación distribuida para autoconsumo con energías alternativas

PROYECTO PARA LA PROMOCIÓN DE LA ENERGÍA DERIVADA DE LA BIOMASA (PROBIOMASA)

Juan Ignacio Paracca⁹
PROBIOMASA, Secretaría de Energía de la Nación
Buenos Aires, Argentina

Esquema Institucional

El Proyecto para la Promoción de la Energía Derivada de la Biomasa (PROBIOMASA) es una plataforma que articula a los sectores público y privado, a nivel local, provincial y nacional, para facilitar el acceso a los recursos técnicos, económicos y financieros para la promoción e implementación de proyectos de generación de energía a partir de biomasa.

Objetivo general del PROBIOMASA

Incrementar la producción de energía térmica y eléctrica derivada de biomasa para asegurar a la sociedad un creciente suministro de energía renovable, limpia, confiable y competitiva, a la vez de abrir nuevas oportunidades para el desarrollo del sector agropecuario, forestal y agroindustrial del país.

Estructura del PROBIOMASA

El proyecto consta de tres componentes principales (Figura 1):

i) *Fortalecimiento institucional*: reforzar entidades públicas y privadas para crear la infraestructura para impulsar el uso sustentable de la energía obtenida de biomasa.

ii) *Estrategias bioenergéticas*: promover el establecimiento de emprendimientos bioenergéticos mediante la conformación de una incubadora de proyectos.

iii) *Difusión, sensibilización y capacitación*: informar y capacitar a los actores políticos, empresarios, investigadores y al público en general acerca de las oportunidades y ventajas que ofrece la bioenergía.

⁹ Coordinador Nacional Alternativo de PROBIOMASA

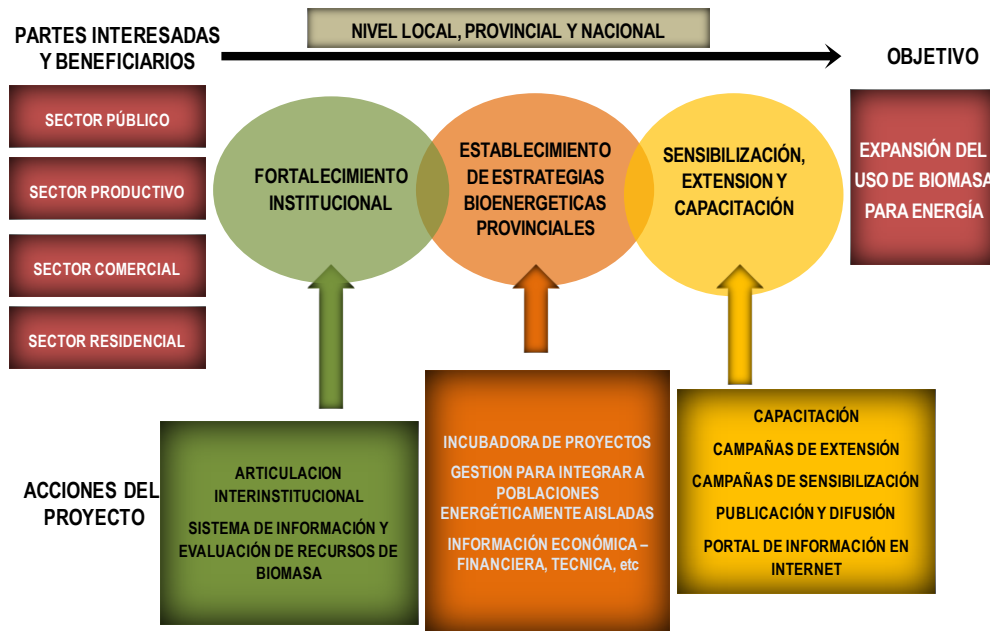


Figura 1: Estructura organizativa del PROBIOMASA

Fortalecimiento Institucional

Dentro de los principales avances llevados a cabo en este componente, se destaca la firma de Cartas de Intención con trece (13) provincias, y seis (6) instituciones; y a su vez, se encuentra en curso de firma otra provincia. En cada una de estas provincias, se identificaron los actores y referentes locales con los que PROBIOMASA coordina actividades.

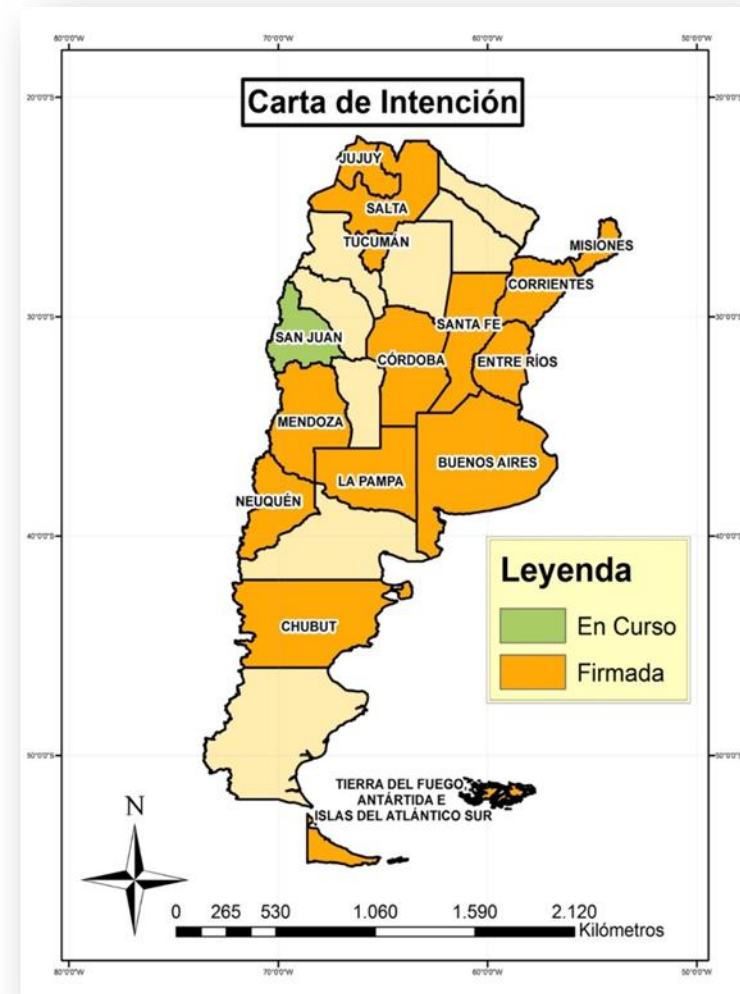
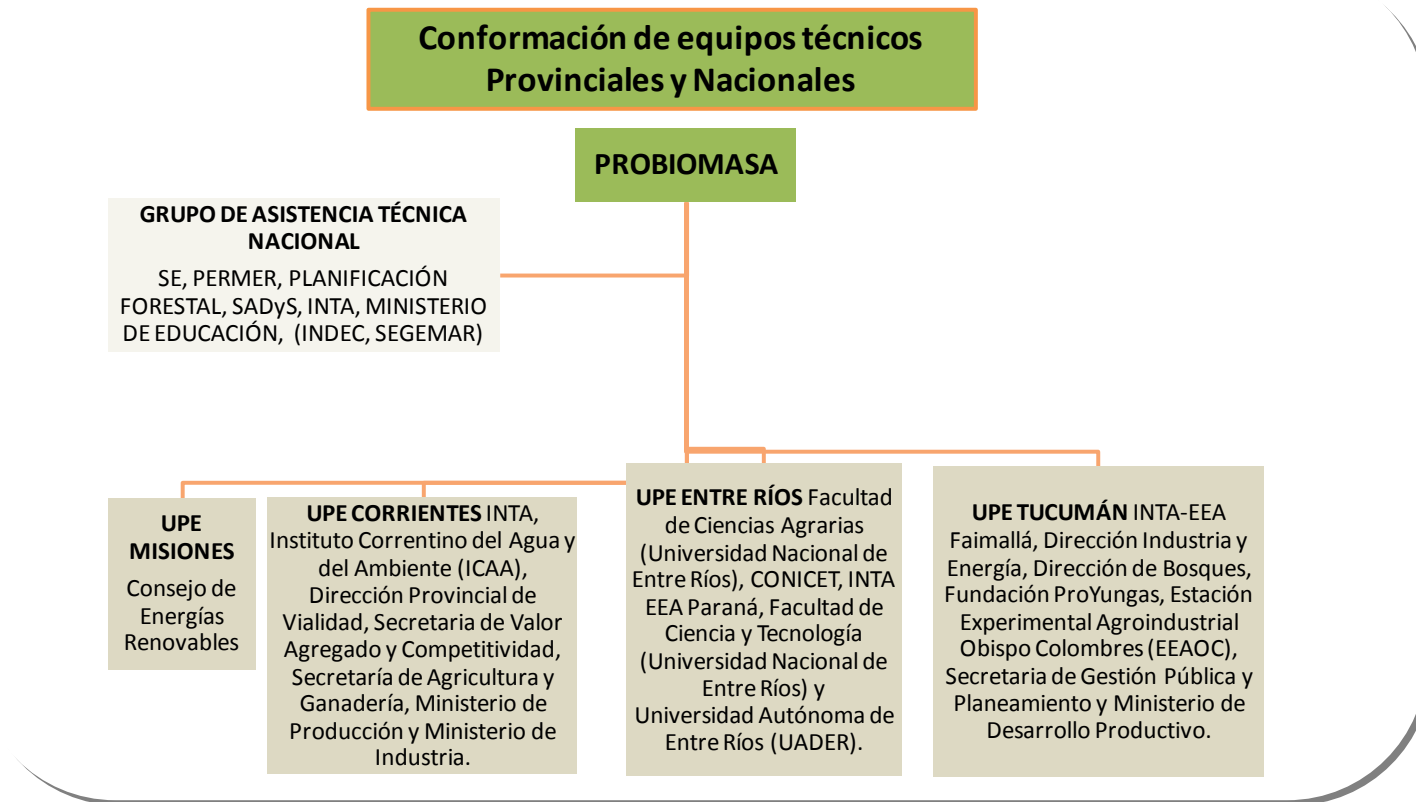


Figura 2: Provincias que firmaron Cartas de Intención con PROBIOMASA, y provincias con acuerdo en curso.

PROBIOMASA está constituyendo **Unidades Provinciales de Ejecución (UPE)** que constan de un punto focal institucional, uno técnico y de un equipo consultivo de profesionales. En el marco de estas unidades se implementan las líneas de acción comprendidas en cada uno de los componentes del proyecto. Algunos ejemplos UPE constituidas se muestran en la Figura 3.

Figura 3: Ejemplos de equipos técnicos constituidos en las provincias.



Asimismo, dentro de este componente se han establecido Cartas de Acuerdo con Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), Fundación Proteger, Grupo IFES, Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética (CEARE), Universidad de Lomas de Zamora (UNLZ) (Cuadro 1 y 2).

Institución	Actividades
FAUBA	Producción de biomasa a partir de Miscanthus - modelo de negocio normalizado - cursos de capacitación a distancia
Fundación Proteger	Cursos de capacitación en biogás
Grupo IFES	Cursos de capacitación en biogás
CEARE	Descripción de los mecanismos regulatorios existentes para la incorporación de la biomasa como fuente de energía Recomendaciones para la superación de las barreras normativas para la producción y usos del biogás, de energía eléctrica a partir de biomasa sólida Estudio de la inserción de la biomasa en la red eléctrica – comparación con países de la región
UNLZ	Estudios acerca de la capacidad de generación de energía a partir de tallo de sorgo dulce, y de los residuos de la cosecha en la Región Núcleo Argentina

Cuadro 1: Actividades en ejecución por las instituciones con las que se tiene Carta de Acuerdo.

Sistema de información georreferenciada para evaluación de recursos de biomasa

El proyecto PROBIOMASA tiene entre sus objetivos proveer a las provincias interesadas (aquellas con las que se ha suscrito cartas de intención) una herramienta de consulta interactiva que refleje la disponibilidad de los recursos de biomasa en localizaciones geográficas concretas.

La herramienta analiza e integra la distribución espacial de la oferta energética de biomasa proveniente de residuos de campo e industrias de transformación, junto con la demanda de los sectores residencial, industrial y comercial, enriqueciendo el estudio con variables de accesibilidad física y legal.

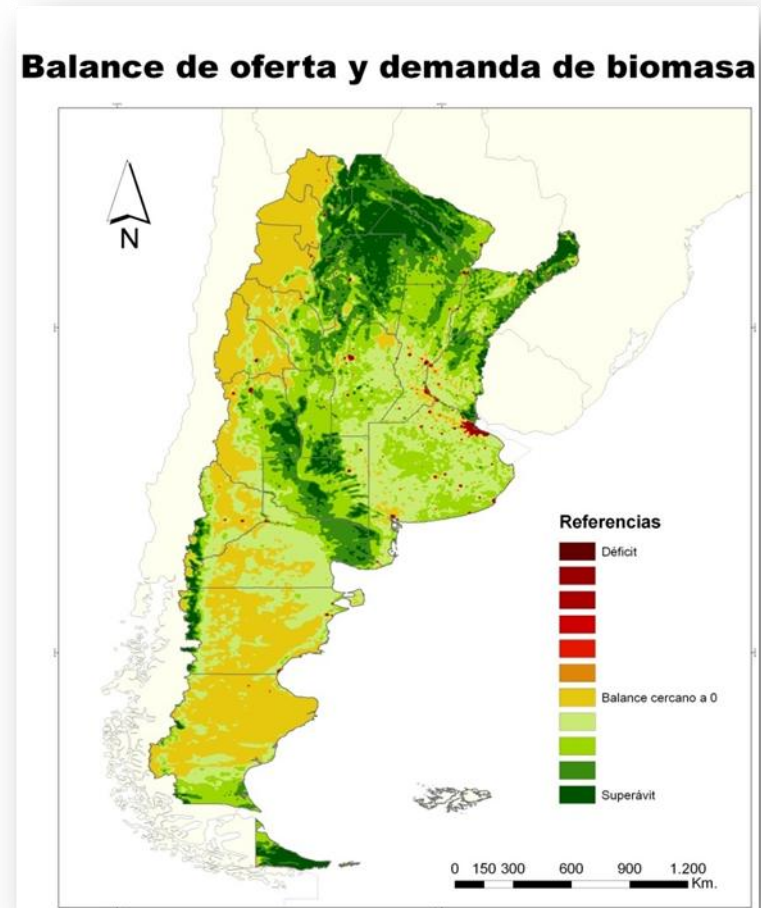


Figura 4: Balance de biomasa seca existente en el país.
Fuente: WISDOM, FAO con datos de 2007.

Metodología empleada

La metodología utilizada para el análisis de la oferta y demanda de biomasa para energía es el “Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Biomasa para Energía” (WISDOM, por sus siglas en inglés), desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) junto con el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

WISDOM es una metodología que se apoya en Sistemas de Información Geográfica (SIG) e integra información de sectores tan diversos como el forestal, agropecuario, energético, industrial, comercial y sociodemográfico.

En consecuencia, se constituye como una importante herramienta para la toma de decisiones en materia de generación de energía derivada de biomasa, ya que facilita el análisis multicriterio. PROBIOMASA emplea en la aplicación de esta metodología software libres, para la elaboración de modelos de análisis espacial adaptados para cada provincia en función de las cadenas productivas predominantes (de las que se derivan los subproductos considerados en la mayoría de los casos actualmente residuos), así como para la aplicación para proyectos específicos: modelos de optimización para la localización de aprovechamiento energéticos a partir de biomasa y modelos de cuenca de oferta de biomasa para proyectos con localización predeterminada.

Utilidades de la herramienta

Permite conocer la disponibilidad de recursos biomásicos en localizaciones geográficas concretas, aportando información para la planificación de proyectos de energías renovables.

Aplicación de WISDOM en el marco de las Unidades Provinciales Ejecutoras PROBIOMASA

Para el análisis espacial e integral de la oferta y demanda de recursos biomásicos con fines energéticos se ha conformado un equipo técnico especializado que lleva adelante, como principales acciones, la identificación, compilación y estandarización de la información necesaria para la aplicación de los modelos de análisis espacial, adaptando la metodología a la realidad productiva, energética y socio demográfica de cada provincia. Asimismo, se llevan a cabo cursos de capacitación técnica a los equipos técnicos de las Unidades Provinciales de Ejecución sobre el método de análisis aplicado, así como jornadas de transferencia metodológica a las instituciones gubernamentales de nivel nacional participantes.

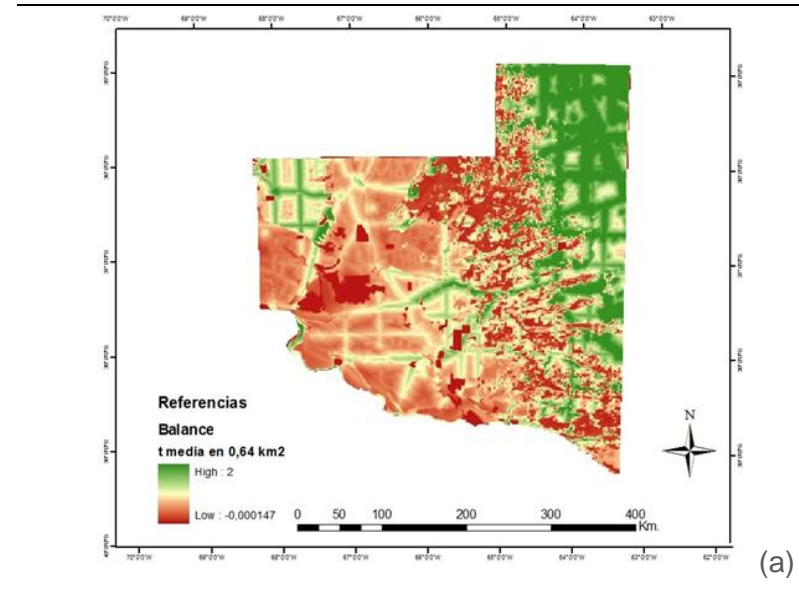
Hasta el presente, se ha completado el desarrollo de la metodología WISDOM para tres de las diez provincias implicadas formalmente en el programa PROBIOMASA. Estas son La Pampa, Salta y Tucumán. En tanto que para el caso de Mendoza el análisis se encuentra en etapa de revisión para su

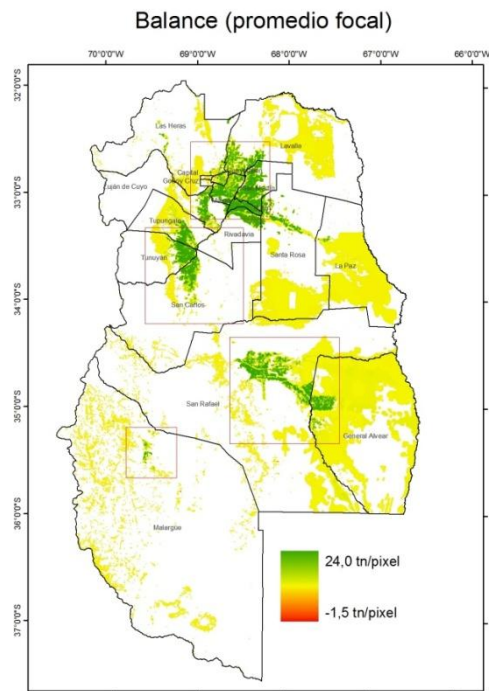
finalización. En tanto que para el resto de las provincias que han solicitado la realización del análisis ya cuentan con el modulo de accesibilidad completo y de demanda en base a datos provisorios, que serán reemplazados una vez obtenidos los resultados de la encuesta de consumo.

El proceso de análisis espacial se realizó sobre la base de la productividad sustentable y potencialmente disponible para energía, en sus valores medios, para cada clase. El mapeo de las plantaciones forestales y los bosques nativos fue realizado mediante la aplicación de determinados factores de reducción. Posteriormente, los recursos disponibles fueron analizados en función de la accesibilidad física (facilidad de acceso a un determinado recurso biomásico), y legal (restricciones legales a las que está sujeta su explotación y su gestión comercial), para estimar y mapear los recursos que están potencialmente disponibles y accesibles.

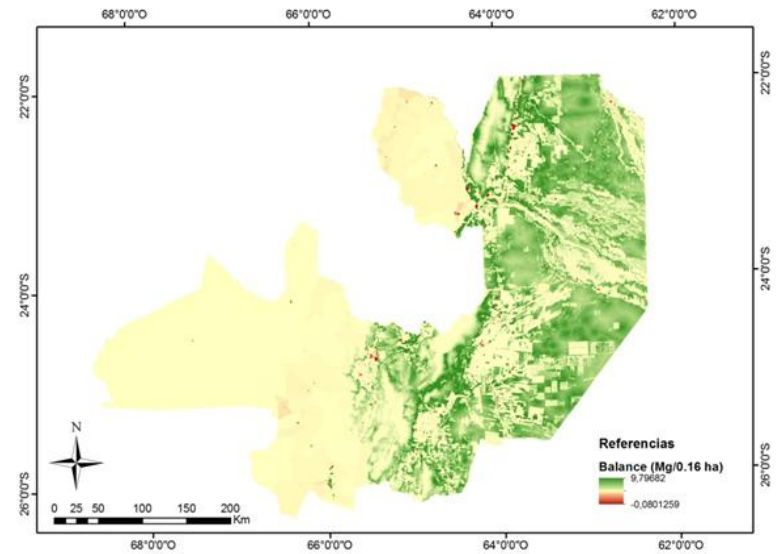
Las fuentes de oferta indirecta, que se refieren a la biomasa contenida en los subproductos de procesos industriales, se han localizado generalmente en las plantas industriales en las que dichos procesos tienen lugar, incluyendo tanto foresto como agro industrias de las cuales fue posible obtener información fiable.

En la figura 4 se muestran los mapas de balance obtenidos para cada provincia. En las tablas 1 a 4 se muestran los valores de dicho balance por departamento en cada una de las cuatro provincias.





(b)



(c)

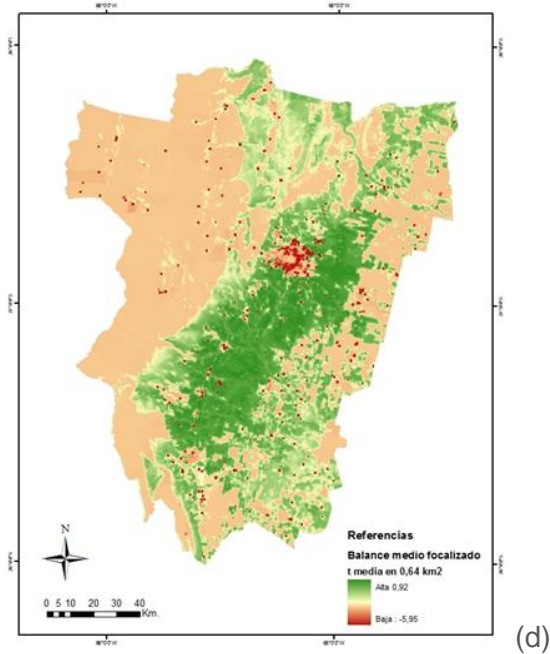


Figura 4: Mapas de balance de recursos biomásicos de La Pampa (a), Mendoza (b), Salta (c) y Tucumán (d)

Estrategias bioenergéticas

Las principales funciones de este componente incluyen el asesoramiento, la evaluación y selección de proyectos existentes y de nuevos emprendimientos, para garantizar la sostenibilidad técnica, económica- financiera, social y ambiental de cada uno de ellos. Las principales tareas que lleva adelante son las de evaluar los recursos de biomasa,

brindar asesoramiento técnico y de gestión, facilitar la gestión de financiación, así como realizar estudios específicos.

Dentro de los avances de este componente, el relevamiento georreferenciado de proyectos bioenergéticos permitió identificar 131 proyectos en total, dentro de los cuales existen proyectos en estado de operación, proyectos en estado de construcción y en cartera con distinto grado de avance (Figura 5).

Proyectos Identificados (131)

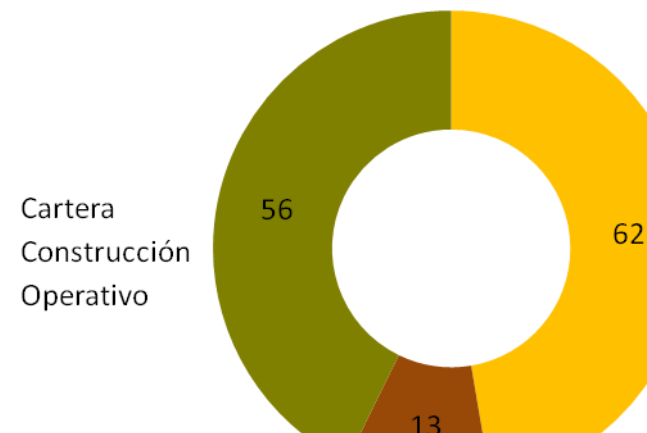


Figura 5: Identificación de proyectos bioenergéticos

En cuanto a la distribución geográfica de estos proyectos, la mayor cantidad se concentra en las provincias de Buenos Aires, Misiones, Entre Ríos, Tucumán, y Corrientes

En función a los proyectos identificados, la potencia total generada alcanzaría 500 MW aproximadamente. Dentro de ellos, los proyectos de cogeneración, generación térmica y eléctrica con el uso directo de biomasa son los más numerosos (Figura 6).

Por otro lado, al analizar el potencial energético, se observa que existe una alta concentración en las provincias con mayor disponibilidad de biomasa: Tucumán, Entre Ríos, Misiones y Corrientes (Figura 7).

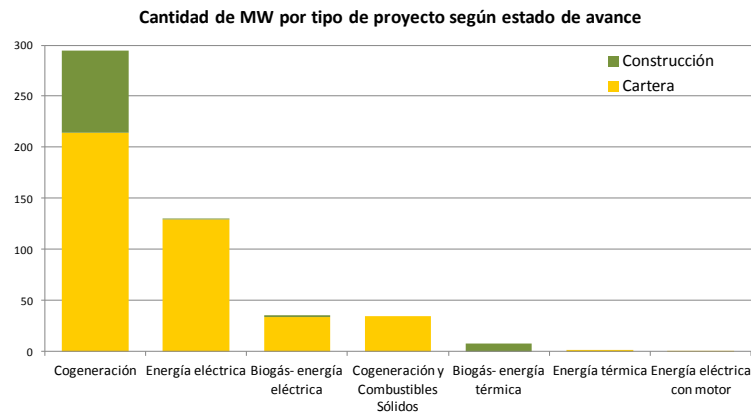


Figura 6: Cantidad de energía y por tipo de generación

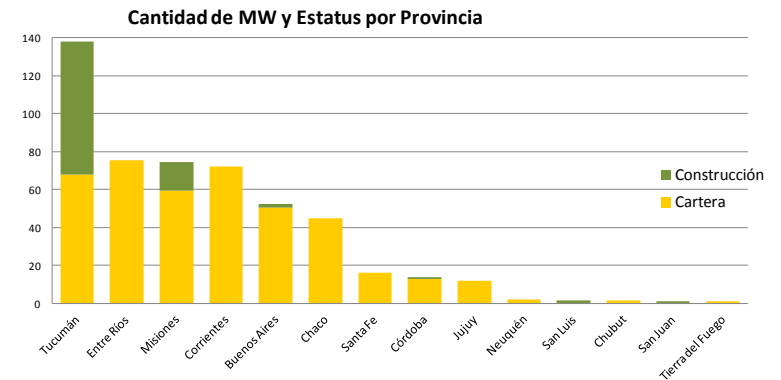


Figura 7: Cantidad de energía y Estatus por provincia

Del conjunto de proyectos identificados, PROBIOMASA brindó asistencia y seguimiento a 30 proyectos, los que representan alrededor de 200 MW. Las asistencias brindadas consistieron en:

- Apoyar la formulación de proyectos y estudios de prefactibilidad
- Asistir a los desarrolladores en la presentación de sus propuestas ante fuentes de financiamiento
- Acompañar a los desarrolladores en reuniones con proveedores
- Desarrollo de análisis WISDOM específicos
- Evaluación de rendimientos
- Asesoramiento sobre modalidades de contratos de venta de energía y tipos de agentes

Otros avances del componente de Estrategias Bioenergéticas

PROBIOMASA fue presentado como “Acciones Nacionales Apropriadadas de Mitigación (NAMA)” dentro de la Estrategia Nacional en Cambio Climático. Se ha firmado un Memorando de Entendimiento entre CAF - MAGyP – MINPLAN, para la elaboración del Concepto NAMA PROBIOMASA.

Se realizó la definición del potencial de mitigación para los 400 MW al 2016 y para los 1325 MW térmicos y los 1325 MW eléctricos al 2030, estimando que la implementación del PROBIOMASA logrará reducir emisiones de GEI en 0,8 mill. tCO₂e/año al 2016 y 65 mill. tCO₂e/año al 2030.

A su vez, PROBIOMASA ha desarrollado una metodología multicriterio para la evaluación y priorización de proyectos bioenergéticos. Asimismo, se ha apoyado a diversos proyectos para su presentación ante distintas instituciones que brindan asistencia financiera, principalmente frente al FONARSEC del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT).

Difusión, sensibilización y capacitación

La principal tarea de este componente es sensibilizar y generar capacidades en funcionarios, trabajadores, productores, técnicos, académicos y público en general sobre las ventajas y oportunidades económicas, ambientales y sociales que ofrece la energía derivada de biomasa.

Página Web y redes sociales

El PROBIOMASA tiene un sitio Web operativo desde fines de agosto 2013, el cual cuenta con diferentes secciones: Energía, Legislación, Acuerdos, Banco de proyectos (georreferenciado), Capacitación, Estadísticas (simulador), Calendario, Recursos, SIG biomasa (con link al mapeo de la Secretaría de Energía), Biblioteca Virtual, Institucional, Prensa, Enlaces, Canal Youtube, Álbumes Flickr y Twitter, www.probiomasa.gob.ar.

El sitio web de PROBIOMASA fue visitado por miles de usuarios desde su implementación y cuenta con la entrega de un Boletín Mensual que se distribuye a más de 3500 suscriptores (Figura 8).

El Proyecto está presente en Twitter (@probiomasa), Youtube con más de 600 visitas y Flickr, como banco y archivo de fotografías.

Boletín Probiomasa Nro. 11 | Octubre de 2014

PROBIOMASA
ENERGÍA FIRME Y LIMPA PARA CRECER

Curso virtual sobre la elaboración de planes de negocios

PROBIOMASA otorgará Becas para la capacitación a distancia, que se desarrollará del 03 de noviembre al 19 de diciembre de 2014.
PRE - INSCRIPCIÓN Abierta desde 24 de octubre de 2014 [Click Aquí](#)
[Información completa](#)

PLAN DE NEGOCIOS

Enlaces destacados

- Energía derivada de biomasa
- Legislación
- Acuerdos
- Banco de Proyectos
- Capacitación
- Estadísticas
- Calendario
- Recursos
- Biblioteca

PROBIOMASA en ECO Tecnópolis

Invitado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, PROBIOMASA participó en el primer gran encuentro argentino destinado a promover el compromiso con el cuidado del ambiente, la reducción, reutilización y el reciclado de materiales y residuos.
[Las fotografías del evento](#)

Talleres Provinciales de Biogás

Nuevas fechas antes de fin de año para los Talleres Provinciales de Biogás.
[Más info](#)

Actualización sección SIG de la Web PROBIOMASA

Ya está disponible la Información Geográfica, de la Secretaría de Energía, sobre Oferta, Consumo y Balance de Biomasa en Argentina.
[Más info](#)

Para conocer más actividades realizadas por PROBIOMASA pueden ingresar a www.probiomasa.gov.ar







Seguinos:





PROBIOMASA | Promoción de la energía derivada de biomasa
Balcarce 637 | 2do. piso | 1064 C.A.B.A. | Tel: 0222-4412400
comunicacion@probiomasa.gov.ar

Si Ud. no puede ver este mail haga [Click aquí](#) | website: www.probiomasa.com.ar



Figura 8: Sitio Web y Boletín Mensual N°11.

Para 2015 se espera publicar el sitio Web en idioma portugués e inglés.

Cursos Presenciales

La disponibilidad en todo el país de residuos orgánicos, tanto del sector agropecuario como del domiciliario (Residuos Sólidos Urbanos), evidencia la importancia del aprovechamiento de estos recursos con fines energéticos. Es por ello que en 2013 y 2014 este componente dictó cursos y talleres sobre el *Aprovechamiento Energético de Biogás* en muchas ciudades y provincias de todo el país, dando cuenta de una gran demanda de conocimientos de actores públicos y privados, alcanzando a capacitar a casi de 1.500 personas (ver Figura 9).

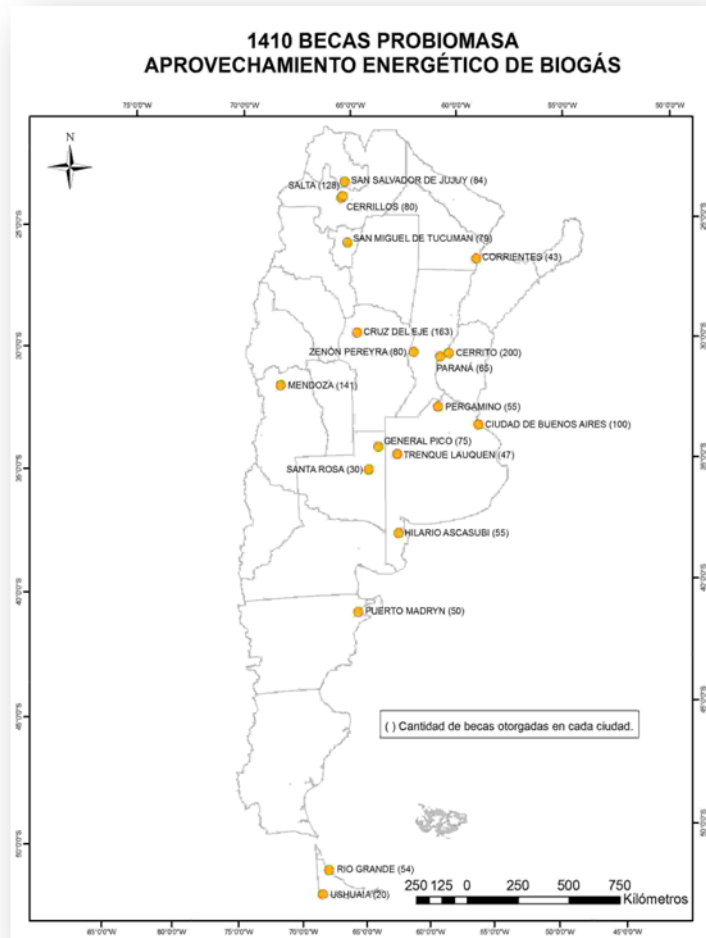


Figura 9: Cantidad de participantes becados según ciudades y provincias.

Durante este año se continúa con distintas actividades de sensibilización y extensión que destaquen la importancia del aprovechamiento de los residuos orgánicos con fines energéticos, dando solución a la disposición de esos residuos y generando energía renovable.

Como complemento, durante este año se llevan a cabo capacitaciones presenciales en Dendroenergía, sobre todo en aquellas ciudades y provincias en las cuales se dispone de gran cantidad de residuos agroforestales potencialmente aprovechables para la generación de energía térmica y eléctrica.

Cursos a distancia

Con el propósito de desarrollar una oferta formativa amplia sobre energía derivada de biomasa, en 2014 se comenzaron a dictar distintos cursos de capacitación a distancia desarrollando contenidos complementarios a los cursos presenciales y de mayor profundidad y duración.

Por ello, en la Carta de Acuerdo firmada con la Facultad de Agronomía de Buenos Aires, se están llevando a cabo dos cursos a distancia, el primero sobre el *Uso de los diferentes tipos de biomasa para el aprovechamiento energético térmico y eléctrico*. La gran demanda de pre-inscriptos, más de 1.000 incluyendo otros países de habla hispana, puso en evidencia la falta de oferta y el interés en capacitaciones sobre energía derivada de biomasa y nos obligó a aumentar la matrícula inicial de 100 becarios a 250.

En el siguiente mapa puede apreciarse la distribución geográfica de los seleccionados para este curso.

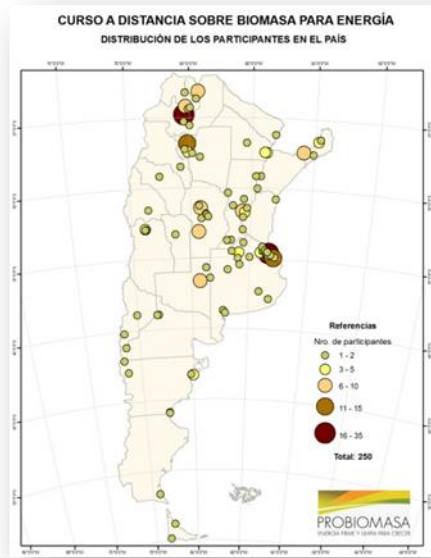


Figura 10: Distribución de los participantes del Curso a distancia sobre biomasa para energía.

El segundo curso, *Cómo armar un plan de negocios: Introducción a un modelo general de uso de biomasa para la generación de energía eléctrica y térmica*, integra nuevos contenidos y también ha tenido una importante demanda de pre-inscriptos superando las expectativas iniciales. Este curso

ha tenido 171 becarios originarios de diferentes ciudades y provincias, como puede apreciarse en el siguiente mapa:

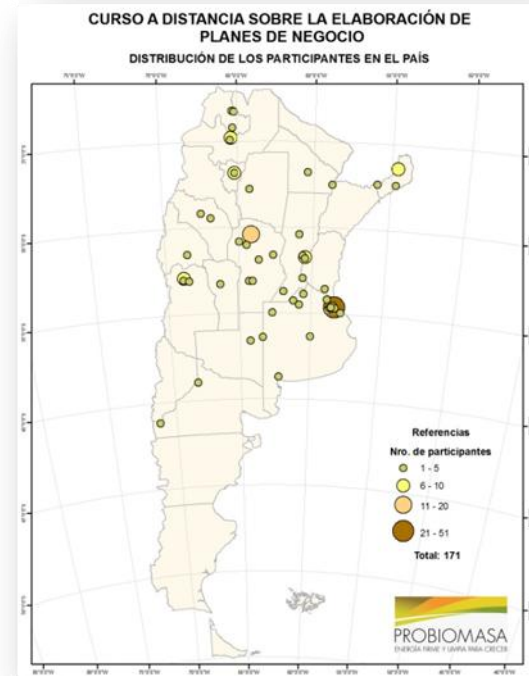


Figura 11: Distribución geográfica de los participantes del Curso a distancia sobre cómo armar un plan de negocios.

Para 2015 se espera volver a dictar estos cursos a distancias y desarrollar nuevos. Se está trabajando con el Centro de Capacitación a distancia de FAO Regional en un nuevo curso sobre Dendroenergía en Argentina.

Materiales de difusión

Este componente también desarrolla materiales de difusión en distintos formatos y para diferentes públicos objetivos.

Audiovisuales de 3´ y 6´: Con el fin de mostrar el gran potencial bioenergético del país y con una importante producción, se visitaron varios proyectos (públicos y privados) con diferentes usos de biomasa y tecnologías para energía (térmica y/o eléctrica). Adicionalmente, se elaboraron archivos fotográficos y de entrevistas técnicas. A continuación se detallan los proyectos bioenergéticos relevados:

1. Las Camelias (empresa avícola), aprovechamiento térmico de biogás. Entre Ríos.
2. Municipio de Cerrito (Separación en origen de residuos sólidos urbanos), aprovechamiento térmico y eléctrico de biogás. Entre Ríos.
3. Asociación de Cooperativas Argentina (ACA), aprovechamiento térmico y eléctrico de biogás. San Luis.

4. Aceitera General Deheza, cogeneración y energía eléctrica. Córdoba.

5. Ingenio La Florida, cogeneración y energía eléctrica. Tucumán.

6. Ingenio Ledesma, cogeneración y energía eléctrica. Jujuy.

7. Ingenio Tabacal, cogeneración y energía eléctrica. Salta.

Estos materiales están disponibles en el sitio Web de PROBIOMASA y son distribuidos en todas las actividades del proyecto en DVD.

Cuadernillo Educativo para niños de 6 a 12 años: “Viaje en Globo a la Biomasa”. Con el propósito de sensibilizar y transmitir qué es, cómo se genera, para qué sirve, dónde se encuentra y qué ventajas tiene la energía de biomasa, se elaboró un Cuadernillo de 8 páginas, con recursos lúdicos e ilustraciones propias. Esta gráfica formó parte de un stand de Tecnópolis 2014, el cual fue visitado por cientos de personas y donde se distribuyeron muchos ejemplares.

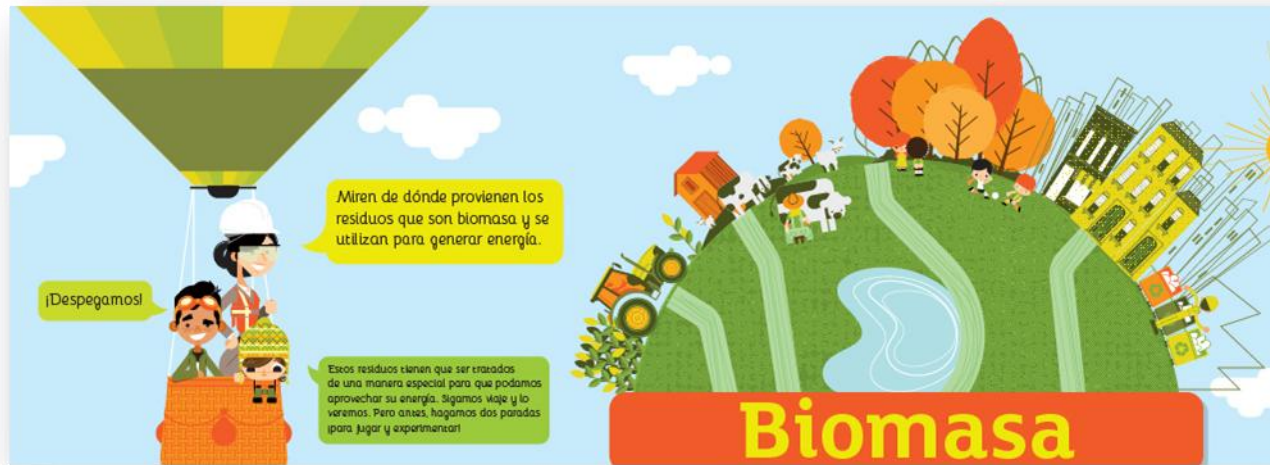


Figura 12: Cuadernillo Educativo “Viaje en Globo a la Biomasa”.

Asimismo se distribuyeron miles de ejemplares en las provincias con las que el proyecto ha firmado Cartas de Intención, se espera desarrollar una versión interactiva online accesible desde el sitio Web, de manera de llegar también a los niños desde sus computadoras personales.

Colección Hojas Técnicas: De manera de disponer de materiales técnicos para un público general, se comenzó a desarrollar una colección de hojas técnicas. Actualmente se dispone de tres: 1. La biomasa es energía renovable, 2. Futuro renovable: Biogás como fuente de energía y 3. Dendroenergía: Residuos leñosos.

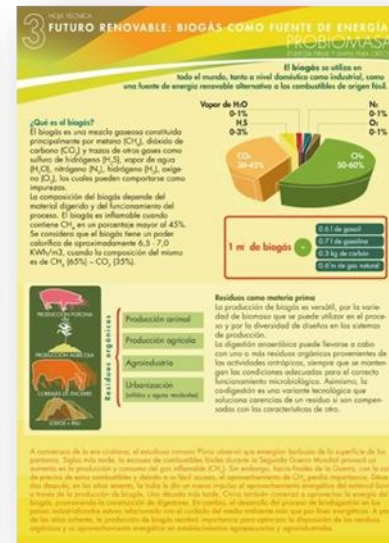


Figura 13: Primeros tres ejemplares de las Hojas Técnicas.

Las Hojas Técnicas son distribuidas en las actividades del proyecto y están disponibles en el sitio Web.

Eventos: La participación en la organización y promoción de jornadas, seminarios y congresos relacionados a la promoción de bioenergía es otra tarea del componente. En el 2013, 2014 y 2015 PROBIOMASA organizó, auspició y participó presentando el programa en un amplio número de eventos.

Conclusión

El proyecto PROBIOMASA se propone promover la ampliación de la biomasa en la matriz energética nacional a través del conjunto de actividades mencionadas anteriormente.

Para ello es prioritario conformar una red interinstitucional que permita canalizar las acciones del programa en las provincias y en conjunto con otros organismos nacionales responsables de la ejecución de políticas, planes y programas de estrecha relación con la promoción e implementación de aprovechamientos energéticos a partir de biomasa.

En el marco de estas Unidades Provinciales de ejecución se desarrolla, en conjunto con sus equipos técnicos conformados por representantes de numerosos de organismos, la aplicación

de la metodología WISDOM para evaluar el potencial bioenergético de las provincias que así lo solicitaron. Actualmente se trabaja en la aplicación de la metodología en 6 provincias y en el cierre de los resultados de las 4 provincias mencionadas arriba. Como resultado de su implementación es posible resaltar los puntos de atención prioritaria para el desarrollo de aprovechamientos energéticos a partir de biomasa.

Por otra parte se trabaja asistiendo a los desarrolladores de proyectos a superar los desafíos de diversa índole que supone el desarrollo de proyectos a partir de biomasa.

Por otro lado, desde PROBIOMASA consideramos de fundamental relevancia avanzar en la implementación de estrategias de difusión y sensibilización. Para ello se continúa trabajando en la identificación y generación de eventos, materiales informativos y la permanente actualización de la página de internet del proyecto.

GENERACIÓN DE ENERGÍA A TRAVÉS DEL USO DE BIOMASA EN EL SECTOR PRIVADO: PRESENTACIÓN DE CASOS ESTUDIOS. LA EXPERIENCIA FIPER

Walter Righini¹⁰, Vanessa Gallo¹¹

FIPER - Federazione Italiana Produttori di Energia da Fonti Rinnovabili
Milano, Italia

Resumen

El objetivo de la presentación es mostrar el análisis de costos-beneficios de la instalación de plantas de *telecalefacción* y co-generación a biomasa leñosa a partir de la demanda de energía en Italia y Europa. El Plan de Acción Nacional (PAN) italiano asigna a la biomasa el 60% de la producción de energía térmica de fuentes renovables (7,5 Mtep). A partir de los resultados del estudio realizado por FIPER sobre el potencial de *telecalefacción* a biomasa, en Italia sería posible instalar 801 plantas ubicadas en 801 alcaldías rurales y de montaña, considerando la disponibilidad de biomasa en el territorio. La instalación de 400 plantas de *telecalefacción* a biomasa permitiría conseguir los siguientes resultados: 1.000 - 1.500 MW de potencia térmica, 200 - 400 MW de potencia eléctrica, 2,5 - 4 mil millones de euros en inversiones realizadas en el territorio local y 3-6 millones de toneladas de biomasa local por un valor de 5-10 mil millones

de euros, garantizado por los próximos 30 años. Las plantas son determinadas y dimensionadas en relación a la producción anual de biomasa y la demanda de energía de la comunidad, configurando así proyectos territoriales. El objetivo principal es conseguir la autonomía energética y neutralizar las emisiones de gases nocivos producidos por la actividad de calefacción. En su combustión, la biomasa libera CO₂ a la atmósfera, el mismo CO₂ que absorbió de la atmósfera durante su crecimiento. Si se trata de materia orgánica vegetal, su balance de emisiones de CO₂ es neutro.

Palabras clave

Valorización local de biomasa – autonomía energética (térmica/eléctrica) – eficiencia productiva – gestión sostenible de recursos naturales – pleno empleo a largo plazo (30 años) – análisis de costes – beneficios – política energética en la EU.

¹⁰ Presidente

¹¹ Secretaria Nacional

Introducción

Fundada en 2001, la *Federación Italiana de Productores de Energía de Fuentes Renovables (FIPER)* agrupa 86 plantas de producción de energía térmica a partir de biomasa leñosa, representando el 90% de este sector. Desde septiembre de 2009, FIPER agrupa, de la misma manera, 22 plantas de producción de biogás. El área de calefacción y refrigeración representa un pilar fundamental en las estrategias energética y climática de la Unión Europea. Dado que el 92% del calor renovable en Europa es producido a partir de biomasa, la bioenergía jugará un papel fundamental en la reducción de la huella de gases de efecto invernadero producidos en la calefacción y refrigeración.

En Italia, el sector de calefacción es responsable del 44% de la meta de producción de energía renovable para 2020 (10,5 de 23,5 MTep en total) y está caracterizado por una gran utilización de biomasa leñosa (pellets, chips, leña) que representa aproximadamente 60% de la meta renovable. En la actualidad, las plantas de generación de energía para el consumo regional desempeñan un papel importante en el desarrollo y consolidación de la cadena corta de producción de biomasa leñosa.

FIPER estimó que 801 municipios de Italia podrían ser calefaccionados con plantas de generación con biomasa. Si las autoridades gubernamentales decidieran promover tan sólo 400 plantas (con alrededor de 5 – 10 MWt y 0,5 – 1 MWe) para esos 801 municipios, la potencia nacional se incrementaría en 1000 – 1500 MW térmicos y 200 – 400 MW eléctricos producidos por **cogeneración** de electricidad y

calor útil, con una contribución estimada de 0,5 – 1 MTep. Esta cifra corresponde a una inversión de aproximadamente 2,5 – 4 mil millones de euros permitiendo utilizar 3 – 4 millones de toneladas de biomasa lignocelulósica al año, por un valor económico estimado de 5 – 10 mil millones al año (considerando el precio actual de la biomasa).

El modelo de FIPER para la “Generación de Energía a partir de Biomasa en el Sector Privado” adopta un enfoque de *cadena de valor*: desde la extracción de los recursos biomásicos (enfocándose particularmente en los co-productos) hasta la transformación de la biomasa y su conversión en calor, electricidad y biocombustible, incluyendo los aspectos logísticos necesarios para transportar la biomasa o el medio portador de energía.

Las tecnologías de conversión de biomasa no pueden ser desarrolladas a gran escala de manera aislada, sino que la cadena de valor en su totalidad (desde la materia prima hasta los productos terminados) debe ser tenida en cuenta para una implementación exitosa.

La presentación muestra algunas experiencias significativas en el sector privado en Italia, referidas a calefacción doméstica (media y gran escala), por medio de cogeneración de calor y electricidad (CHP) y utilizando el Ciclo de Rankine Orgánico (ORC), plantas CHP de pequeña y micro escala, y biorrefinerías.

Desarrollo

Para un correcto empleo de la biomasa disponible a nivel local en la región de Córdoba, la primera recomendación,

a partir de la experiencia italiana, será la de evaluar la demanda de energía interna y luego definir la tecnología más apropiada. Tomando en cuenta las industrias visitadas durante la misión institucional, la estrategia tecnológica más en línea con las exigencias productivas sería la de producir el máximo valor de energía eléctrica a partir de la biomasa disponible, y luego energía térmica y frío. Para conseguir un resultado favorable de esta iniciativa hay que construir proyectos sólidos, de alta eficiencia y facilitar las adjudicaciones de permisos y licencias.

Conclusión

El aprovechamiento de la biomasa conlleva grandes ventajas sociales, económicas y medioambientales, ya que:

1. La biomasa es una fuente de Energía Renovable, dado que gestionada correctamente es un recurso inagotable que permite almacenar “energía” para utilizarla en función de la demanda.
2. Las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno, partículas y otras sustancias contaminantes son mínimas.
3. El aprovechamiento energético de la biomasa contribuye a la diversificación energética y aumenta la seguridad energética y económica por la independencia de las fluctuaciones de los precios de los combustibles provenientes del exterior.
4. La implantación de cultivos energéticos en tierras abandonadas previene la erosión y degradación del suelo.
5. El aprovechamiento de la biomasa forestal reduce el riesgo de incendios forestales y de plagas de insectos.
6. El aprovechamiento de algunos tipos de biomasa contribuyen a la creación de puestos de trabajo y mejora socioeconómica del medio rural.

Referencias bibliográficas

- Piano Azione Nazionale – 2010.
- Studio Fiper: “Potenziale di penetrazione del teleriscaldamento a biomassa in comuni italiani non ancora metanizzati”.
- Rapporto GSE impianti a biomasse 2012.

GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA AUTOCONSUMO CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Diego Alberto Franco¹²

*Universidad Católica de Córdoba – Grupo GEO – Asociación
Profesionales Ingenieros Especialistas de Córdoba (APIE)*

Córdoba, Argentina

Resumen

En la actualidad, el uso de Energía Eléctrica se ha convertido en una necesidad imprescindible, con una demanda en incremento permanente, debido a los nuevos artefactos que la tecnología va desarrollando.

Las redes de suministro eléctrico cada vez son más demandadas pero producen pérdidas por distribución y requieren fuertes inversiones para su actualización. La generación actual se realiza en grandes centrales, alejadas de los centros de consumo, con redes muy largas, altamente costosas y con pérdidas importantes por transmisión.

La generación distribuida se han transformado en una de las soluciones, de aplicación creciente en todo el mundo, ya que la generación se produce donde se consume la energía, se evitan inversiones costosas y pérdidas por distribución.

Durante el desarrollo se realizan análisis económicos y volumétricos que demuestran la necesidad y razonabilidad de aplicar las ENERGÍAS ALTERNATIVAS para la Generación Distribuida.

Por otra parte, tratamos de mostrar las situaciones actuales, los métodos de corrección para las distorsiones y la reglamentación adecuada a nivel nacional.

¹² Profesor de Energías Alternativas, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Córdoba. Vocal Titular y Director del Grupo GEO (investigación en energías eólica).

Finalmente, se destacan los sistemas y procedimientos en vigencia y los que deberían ponerse en marcha.

Palabras clave:

Energías Alternativas, Generación Distribuida, Autoconsumo, Energía Eólica, Energía Solar, Biomasa

Introducción

En la actualidad, el uso de Energía Eléctrica se ha convertido en una necesidad imprescindible, con una demanda en incremento permanente, debido a los nuevos artefactos que la tecnología va desarrollando.

Las redes de suministro eléctrico cada vez son más demandadas pero producen pérdidas por distribución y requieren fuertes inversiones para su actualización. La generación actual se realiza en grandes centrales, alejadas de los centros de consumo, con redes muy largas, altamente costosas y con pérdidas importantes por transmisión.

La generación distribuida se han transformado en una de las soluciones, de aplicación creciente en todo el mundo, ya que la generación se produce donde se consume la energía, evitándose así inversiones costosas y pérdidas por distribución.

Una forma de generación distribuida son los *sistemas delivery* instalados por ENARSA (Energía Argentina SA), que permiten tener centrales modulares en los lugares de consumo. Estos sistemas están constituidos por varios generadores que van entrando en servicio a medida que aumenta la demanda: en un extremo, si la demanda es baja están apagados. Este sistema resulta de buena aplicación porque en lugar de tener grandes usinas en marcha, permite ir activando cada uno de los equipos a medida que aumenta el consumo. Pero lo que resulta inconveniente es que están alimentados con combustibles fósiles (gas o gasoil), y en consecuencia significan: alto costo, recursos agotables y alta contaminación.



Frente a esta situación, la generación distribuida para consumo de los usuarios (autoconsumo), a partir de energías

alternativas, se ha transformado en una de las soluciones de aplicación creciente en todo el mundo, porque cumple con el precepto básico que consiste en generar la energía próxima al lugar donde se consume. Con esa finalidad se estima necesario establecer una reglamentación básica que permita poner en práctica este sistema en Argentina. Actualmente hay muchas instalaciones sin autorización, lo que implica un riesgo para usuarios y operadores.

Las prácticas más usuales de aplicación de generación distribuida para autoconsumo son:

En la mayoría de los casos se instala un generador cuya máxima potencia sea igual o menor al consumo mínimo; de esta forma nunca se entrega energía a la red y es auto-consumida.

En otros casos, directamente utilizando un inversor se conecta un generador fotovoltaico a cualquier toma de la casa (estas son las ofertas comerciales en internet) y de esa forma, mientras el consumo es igual o superior a lo generado produce un ahorro en la cantidad de kWh consumidos. Cuando la generación es superior al consumo, esa energía es entregada a la red pública. Por el sistema de medidores actuales, que no son de ida y vuelta, en algunos casos el medidor se detiene y en la mayoría lo marca como un consumo (marcan como consumo tanto sea por ingreso como por egreso de energía, para evitar fraudes). Como la mayor generación se produce durante el día, cuando las personas de la casa están en el trabajo y los consumos son casi nulos, estamos la mayor parte del tiempo entregando a la red; por

consiguiente esa energía no se computa como entregado sino como consumida y puede llegar a producir un registro de mayor consumo, lo que significa un perjuicio para el usuario. Por este motivo y sobre todo por razones de seguridad y ante una situación de facto, no se debe permitir que haya conexiones a la red pública sin la supervisión y verificación de un profesional competente, y autorizado por la autoridad de aplicación; por lo tanto es imprescindible el dictado de la reglamentación correspondiente.

Desarrollo

Desde la Asociación Profesionales Ingenieros Especialistas de Córdoba (APIE), Grupo de Generación de Energía Eólica (GEO), se ha elaborado este proyecto, para tener un punto de partida para la elaboración de normas que reglamenten todos los aspectos técnicos y administrativos que hacen a su implementación.

Proyecto de reglamentación para aplicar en argentina el régimen de generador consumidor - autoconsumo

Cada vivienda o unidad de consumo, puede generarse su propia electricidad para autoconsumo.

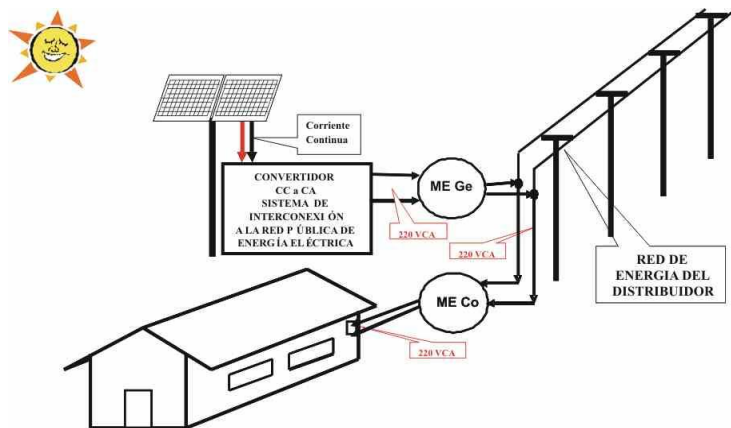


Este procedimiento permite que se aplique en viviendas, repetidoras de comunicación, fábricas o centros de consumo, etc. La producción de energía se realiza con generadores eólicos, fotovoltaicos, microhidráulicos, biogás, etc.

Se instalan dos medidores: uno mide lo que consumimos y el otro lo que entregamos; se paga sólo la diferencia: esto implica ahorro de hasta 90% de la energía que consumimos



El esquema, para el caso de energía solar fotovoltaica, a título de ejemplificación y aplicable para todas las otras energías alternativas, es el siguiente,



Ventajas

- Disminuye las pérdidas en las redes, por reducción de la energía demandada
- Asegura un costo fijo en u\$s de la energía durante 20 años o mas

- Permite ahorrar toneladas de Petróleo y evita la emisión de CO₂
- Contribuye a mejorar la calidad de vida y el medio ambiente
- Genera desarrollo de Mano de Obra especializada local
- Provoca crecimiento económico por mayor valor agregado

Inconvenientes

Desde el punto de vista del usuario:

Si lo instala un consumidor, tendrá que hacer la inversión por su cuenta y tener presente que el costo del kWh generado (teniendo en cuenta costo de capital para la energía generada durante 20 años, más tasa de interés), será mucho mayor que el precio que paga el kWh a la distribuidora. Esto se debe a que en Argentina la Energía Eléctrica se encuentra subsidiada.

Por ejemplo, el kWh al consumidor final, en una distribuidora de Buenos Aires o de las principales provincias, tiene un precio que varía entre \$0,5 y \$1, pero a esto se le resta el 50% de subsidio del Gobierno Nacional y finalmente el kWh queda a un costo de \$ 0,25 o \$ 0,5.

Para verificar el subsidio, el MEM (Mercado Eléctrico Mayorista) paga por la generación a las Centrales Térmicas de Ciclo combinado, en las horas normales, \$1000 el MWh y en las horas pico a las Centrales Térmicas a Petróleo \$1799 el MWh (24/04/2014), es decir \$0,48 a \$1,8 el kWh. Como podemos apreciar un monto mucho mayor a lo que pagan los

consumidores (\$0,25 a \$0,5), esto muestra cómo opera el subsidio.

Desde el punto de vista del distribuidor:

El distribuidor compra la energía al MEM a un precio de mercado de \$120 por el MWh, es decir a \$0,12 el kWh. Entre el precio de compra, \$0,12 más peaje, etc. (aprox. \$0,15) y el precio de venta, \$0,5 a \$1 (porque el subsidio lo absorbe el MEM), hay una diferencia que esta destinada a cubrir los costos de distribución, mantenimiento de redes, y la ganancia del distribuidor.

Si el autogenerador le compensa los kW consumidos con los kW generados, la distribuidora solamente cobrará la diferencia de precio por los kW netos y por consiguiente se pierde de cobrar la diferencia de precio por los kW generados por el autogenerador.

Por consiguiente las distribuidoras no están en condiciones de perder esa parte de ingresos que sirven para cubrir sus costos.

Hay que analizar también en este caso que las distribuidoras, en los kW autogenerados, se ahorra las pérdidas por distribución, pero esto no llega a compensar la diferencia perdida. \$0,98 a \$1,05 por kWh.

Soluciones posibles para su aplicación

Tenemos que analizar que el MEM se tiene que hacer cargo de cubrir la diferencia entre el costo real de generación que tiene un autoconsumidor y el precio subsidiado de la energía.

Por el lado de los ingresos que pierde la distribuidora por los kW autogenerados: si el MEM paga a los generadores térmicos aproximado \$1000 el MWh generado y a los parques eólicos \$1016 el MWh, es decir \$1,016 el kWh generado y a los Solares \$2000 el MWh, es decir \$2 el kWh generado, es razonable que también se le pague a los Autogeneradores el costo de generación y a las distribuidoras la diferencia en sus ingresos.

El objetivo es que al MEM le cueste lo mismo o un poco más (por las pérdidas que se ahorra) comprar a las generadoras o a los auto consumidores.

En definitiva, están todas las condiciones de equidad en los precios para que se pueda pagar un kWh generado para autoconsumo lo mismo que se paga a un térmico, eólico o solar.

El MEM no tendría costo adicional y se beneficiaría con la disminución de pérdidas en el transporte y distribución y mejoraría la situación local.

Cuantificación económica y ventajas de los distintos sistemas

Generación distribuida con eólicos

Instalamos

1 MW de eólicos – EQUIVALENTE A 500 EÓLICOS DE 2 kW PN

Costo: u\$s 2,3 a u\$s 2,7 el Watt instalado: 1 MW = u\$s 2.300.000.

Superficie ocupada

Un eólico de 1 MW: 0,25 ha con una torre de 85 m, y

Un generador individual de 2 kW: 20 m² con una torre de 18 m.

Generamos

1 MW x 30% = 0,3 MW x 24 h = 7,2 MWh/día x 365 días al año = 2628 MWh/año

Abastecemos

1000 familias, con un consumo de 7 kWh/día, es decir 4800 habitantes.

1000 familias x 7 kWh/día x 365 días al año = 2.555.000 kWh/año = 2555 MWh/año o

1000 ha de riego de Olivos.

Mientras hay viento se ahorra petróleo o agua que se acumula en las hidráulicas de punta.

A medida que baja el viento se va usando parte del petróleo o se desembalsan los diques para mantener siempre 1 MW de potencia generada.

Ahorramos

Por año: 1550 barriles de petróleo (u\$s 170.000), 1780 t de CO₂.

Genera puestos de mano de obra

20 Puestos MO Directa y 160 Puestos MO Indirecta.

Generación distribuida con solar fotovoltaica 1 MW

Instalamos

1 MW pico de módulos FV, equivalente a 500 generadores FV 2 kW pico c/u.

Rendimiento de los Módulos FV Silicio Cristalino: 12 a 14%. Cada metro cuadrado que recibe insolación de 1000 W/m² genera una potencia pico de entre 120 y 140 Watt.

Costo: u\$s 2,5 a u\$s 3,5 el Watt pico instalado: 1 MW, total u\$s 3.500.000.

Superficie ocupada

Un parque foto voltaico de 1 MW pico 1,6 a 2 ha.

Un generador foto voltaico individual de 2 kW pico; 17 m² de módulos; 12 m² de terreno.

Generamos

Media diaria: 1 MWp x 5,5 h = 5,5 MWh/día = 2000 MWh/año.

Abastecemos

750 a 1.000 hogares (consumo 5,5 a 7 kWh/día), 800 ha de riego de Olivos.

Ahorramos

1200 Barriles de Petróleo por año (u\$s 130.000), 1400 t de CO₂ por año.

Genera puestos de mano de obra

40 Puestos MO Directa y 320 Puestos MO Indirecta.

Beneficio adicional para el caso de generación distribuida con solar foto voltaica para alumbrado público

La generación se produce durante el día, en momentos de máximo consumo y de energía más cara.

El consumo se produce de noche, en momentos de mínimo consumo y de energía más barata.

El beneficio es completo Generación de mayor valor y consumo de menor valor.

Ahorro de combustibles fósiles que son la base de la generación en los momentos pico.

Generación distribuida con biomasa

En este caso particular, los costos variarán según sea el origen de la biomasa y la continuidad de su disposición. Como ejemplo analizamos la energía disponible en distintos desechos.

Con una tonelada de residuos biomásicos se obtiene energía según de donde provenga:

Carozos de Aceituna 4,42 MWh/t – podas de olivo: 3,7 MWh/t.

Purines de Porcino 27 a 32 MWh/t – 55 a 65 m³/t día de biogás.

Estiércol Vacuno 40 a 50 MWh/t – 20 a 25 m³/t día de biogás.

El proceso de aprovechamiento varía si proviene de residuos húmedos o secos.

Residuos con humedad mayor a 60%: mediante presión se obtienen aceites vegetales; mediante fermentación se obtienen gases como el metano.

Residuos secos con humedad menor a 60%: Mediante procesos termoquímicos (combustión, pirólisis, gasificación, licuefacción, se produce la transformación energética).

Sobre esta base ilustrativa podemos pensar en generadores distribuidos, instalados en los lugares donde se obtiene la biomasa.

Por ejemplo, en La Rioja, Departamento Arauco, donde hay residuos de la principal actividad agropecuaria/ industrial, a partir de las plantaciones de olivo, se puede generar energía

suficiente para abastecer el alumbrado público de toda la ciudad, a costos totalmente competitivos.

Resumen: se aprovechan los recursos desperdiciados y se logra bajar los costos de otros procesos.

Pero, el factor común con todas las otras fuentes es el ahorro de combustibles fósiles, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero.

Proyecto de reglamentación para aplicar en argentina el régimen de generador consumidor – autoconsumo – grupo GEO de APIE

Básicamente, se ha tratado de definir con claridad el sujeto *Consumidor Generador* como el que puede conectarse a la red eléctrica pública para entregar energía de su propia generación.

La generación se debe hacer con energías de origen renovable no fósil detalladas en la Ley Nacional 26190 Art. 4 a): energía eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás.

La capacidad del generador está limitada para bajas potencias, de hasta 5 kW, para sistemas conectados a redes de 220/380 Vca, y hasta 100 kW para sistemas conectados a redes de hasta 13.2 kVca.

Se dará especial prioridad, en el marco del presente régimen, a todos aquellos emprendimientos que favorezcan, cualitativa y cuantitativamente, la creación de empleo y a los que se integren en su totalidad con bienes de capital de origen nacional y regional.

La máxima energía generada bajo los parámetros aquí descritos, no podrá superar el 90% del consumo promedio anual, medido o estimado, del consumidor generador.

Se prevé una capacidad escalonada para permitir su implementación: Primer año 30% - Segundo 50% - Tercero 70% - Cuarto 90%

En esta propuesta se han fijado procedimientos para la solicitud de conexión, condiciones, sistemas de medición y facturación y demás requisitos necesarios.

Sobre cuestiones técnicas se han previsto las protecciones, puestas a tierra, aislaciones de los sistemas, etc. que permitan adecuar la nueva instalación a las normas y procedimientos previstos en la reglamentación argentina y las que hacen en particular a este tipo de generación. Se ha previsto un procedimiento abreviado para pequeñas potencias que no superen 2 kW.

Toda instalación de Generación Distribuida deberá cumplir con las normas de gestión ambiental previstas en la legislación nacional respectiva.

Para su elaboración se tomaron como base las reglamentaciones españolas, uruguayas, brasileras y

alemanas, de amplia experiencia al respecto, y se consultó con distribuidores locales, la experiencia de otros países y el aporte de los integrantes del grupo

Toda instalación de Generación Distribuida deberá estar firmada por un profesional técnico habilitado. El sistema de protecciones deberá cumplir con las normativas sobre seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnéticas vigentes en Argentina. Este cumplimiento deberá ser acreditado adecuadamente en la documentación relativa a las características de la instalación a que se refiere el artículo 4, incluyendo lo siguiente:

Principal protección: Anti isla

Ante una apertura en la red del distribuidor, el microgenerador deberá cortar su entrega a la red en un tiempo máximo de 500 ms.

Las protecciones serán:

- a) Un elemento de corte general que proporcione un aislamiento requerido por las normativas vigentes, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. Eventualmente, las funciones del elemento de corte general pueden ser cubiertas por otro dispositivo de la instalación generadora, que proporcione el aislamiento indicado entre el generador y la red.
- b) Interruptor automático diferencial, con el fin de proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento a tierra.

c) Interruptor automático de la conexión, para la desconexión-conexión automática de la instalación en caso de anomalía de tensión o frecuencia de la red, junto a un relé de enclavamiento. Eventualmente la función desarrollada por este interruptor puede ser desempeñada por el interruptor o interruptores de los equipos generadores. Eventualmente, las funciones del interruptor automático de la conexión y el interruptor de corte general pueden ser cubiertas por el mismo dispositivo.

d) Protecciones de la conexión máxima y mínima frecuencia (50,5 Hz y 48 Hz con una temporización máxima de 0,5 y de 3 segundos respectivamente) y máxima y mínima tensión entre fases (1,15 Un y 0,85 Un). La tensión para la medida de estas magnitudes se deberá tomar en el lado red del interruptor automático general para las instalaciones en alta tensión o de los interruptores principales de los generadores en redes en baja tensión. En caso de actuación de la protección de máxima frecuencia, la reconexión sólo se realizará cuando la frecuencia alcance un valor menor o igual a 50 Hz.

e) Además, para tensión igual o mayor de 1 kV y hasta 13,2 kV, inclusive, se deberá añadir el criterio de desconexión por máxima tensión homopolar.

f) Armónicos y compatibilidad electromagnética

Medida y facturación.

La facturación se realizará en la misma forma que se realiza a un consumidor convencional, conteniendo como mínimo los siguientes conceptos:

Datos del consumidor generador

Abono básico por su condición de consumidor

Cargo por potencia

Cargo por medición y administración del sistema de generación distribuida

Cantidad de energía consumida

Cantidad de energía generada

Crédito por energía generada en exceso sobre el consumo del período anterior si existiera

Crédito por energía generada en exceso sobre el consumo del período actual

Saldo de energía a pagar

Total de la factura antes de impuestos

Demás cargos e impuestos según normativas vigentes

La cantidad de energía generada no podrá superar el 90% del total del consumo promedio anual, o del que se estime para consumidores generadores nuevos.

El crédito por energía generada en exceso sobre la energía consumida será compensado en cada factura,

debiendo ser cancelado al finalizar el período anual sin cargo para la distribuidora.

Propuesta para crear categoría de auto generador eólico/solar

1) La base del procedimiento es el Factor de Capacidad del generador eólico/solar que instale un Autogenerador.

2) El objetivo es lograr que un consumidor eléctrico actual (regante agrícola, industrial, estados provinciales, etc.) pueda invertir en Energía Eólica/Solar, dejando de consumir combustibles, ya sea por su propia generación o por el uso de la energía del MEM que también tiene consumo de combustibles.

3) Que el autogenerador pueda invertir en EE o ES (ER) para asegurar su precio de la Energía Eléctrica con una inversión, o que un Estado provincial (por intermedio de su Empresa Provincial de Energía) pueda disponer de energía para el desarrollo de áreas productivas que considere necesario apoyar.

4) De esta manera, el MEM recibe una cantidad de energía adicional equivalente al Factor de Capacidad del Generador Eólico/Solar y por consiguiente disminuye el consumo de otras fuentes (porque el Autogenerador antes consumía de alguna otra fuente).

5) Con este procedimiento no hacen falta estudios de Costos de Capital, Financiamiento, Tasa de Retorno, etc. Todo corre por cuenta del Autogenerador que deberá hacer sus propios

números para ver si le conviene recibir energía de fuente Eólica/Solar (Renovables).

6) Este procedimiento es ideal para aquel consumidor al que no le interesa generar energía como negocio, sino que quiere su autoabastecimiento de energía, o para Estados Provinciales que vean en la Energía Eólica/Solar, una forma de administrar el crecimiento económico de sus actores.

7) Hay numerosas empresas nacionales que están interesadas en invertir en Energías Renovables, como forma de autogenerarse y no como inversión para obtener una ganancia. El autogenerador con Eólicos/Solar presenta un proyecto para inscribirse en tal condición en el MEM. Debe tener una certificación del Factor de Capacidad del sitio, de organismo reconocido internacionalmente, con suficiente tiempo de mediciones con instrumental certificado. Este Factor de Capacidad certificado es para el primer año. Luego para los años siguientes el Factor de Capacidad surgirá de la verdadera operación del Parque Eólico, registrada por CAMMESA

Para calcular cuánto será la potencia instalada, el autogenerador deberá lograr que su consumo sea equivalente a la potencia instalada multiplicada por el Factor de Capacidad. De esta forma, estará asegurando su consumo con el factor de capacidad del PE

El Autogenerador Eólico consume toda la energía generada, hasta el factor de capacidad del parque eólico.

CAMMESA recibe toda la energía que supere el Factor de Capacidad y la utiliza para el MEM. Esta energía entregada por arriba del factor de capacidad se transforma en un crédito para el autogenerador.

Cuando el parque eólico genera por debajo del Factor de Capacidad, CAMMESA le entrega al autogenerador el faltante (le garantiza la potencia equivalente al Factor de Capacidad), y se descuenta del crédito que obtuvo cuando generó por arriba del Factor de Capacidad.

Al finalizar el año calendario se hace un balance de la energía entregada y consumida.

Si la cantidad de energía entregada por el autogenerador (por arriba del factor de capacidad) supera a la consumida (por debajo del Factor de Capacidad), genera un saldo a favor del Autogenerador que será retribuido a precios de mercado. Si la situación es a la inversa se le cobra a valores de energía plus. Esto es para que el factor de capacidad tenga relación con el consumo del autogenerador

PARA TENER EN CUENTA

Potencia Instalada Actual en Argentina, de:

Energía Hidráulica de Punta Aprox. 4.000 MW

Energía Térmica con combustibles fósiles Aprox. 12.000 MW

De acuerdo a experiencias en todo el mundo

La Energía Eólica es menos previsible que la Hidráulica a Corto Plazo (semana)

La Energía Eólica es más previsible que la Hidráulica a Mediano Plazo (año)

La Energía Fotovoltaica es casi totalmente previsible a Corto y Largo Plazo

Mientras el viento o el sol están presentes generamos con eólico y/o solar y reservamos agua y/o petróleo

Cuando el viento o la radiación solar son bajos o están ausentes utilizamos agua y/o petróleo

Si solamente balanceamos con generación térmica a petróleo se ahorra el equivalente al FC del PE o PFV

Cada 1.000 MW instalados de energía eólica a un FC de 35% o 1600 MW instalados de fotovoltaica con 5,5 HE Rad.

Generación Anual: 3066 GWh/año

Esto nos permite ahorrar 1,8 Millones de Barriles de Petróleo por año, U\$S 211 Millones y 2 millones Ton de CO₂ por año.

Comparando la Energía generada con térmica usando combustibles fósiles con la generación con Energía Renovables tenemos las siguientes apreciaciones:

- La generación térmica tiene bajo costo de capital inicial y alto costo de O&M (Operación y Mantenimiento)

(80% de su costo es Combustible) sujeto a la variación del precio de los combustibles.

- Las energías renovables (eólica, solar, minihidráulica), tienen alto costo de capital inicial y bajo costo O&M (10% del costo total) y permiten tener Precio Fijo de la energía generada, en dólares, por los 20 años de vida útil de la central.

Situación actual en argentina

El marco legal lo da la Ley 26.190, y su decreto reglamentario N° 562 / 2009. En su Art 4°, el punto a) define las Fuentes de Energía Renovables no Fósiles: energía eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás, con excepción de los usos previstos en la Ley 26.093.

En su Art. 9° otorga los siguientes beneficios fiscales:

1. En lo referente al Impuesto al Valor Agregado y al Impuesto a las Ganancias, será de aplicación el tratamiento dispensado por la Ley 25.924 y sus normas reglamentarias, a la adquisición de bienes de capital y/o la realización de obras que se correspondan con los objetivos del presente régimen.
2. Los bienes afectados por las actividades promovidas por la presente ley no integrarán la base de imposición del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta establecido por la Ley 25.063, o el que en el futuro lo complemente, modifique o sustituya, hasta el tercer ejercicio cerrado, inclusive, con posterioridad a la fecha de puesta en marcha del proyecto respectivo.

En su Art 14° define la remuneración para la generación con alternativas.

Fondo Fiduciario de Energías Renovables: Sustitúyese el artículo 5° de la Ley 25.019, el que quedará redactado de la siguiente forma:

Artículo 5°: La Secretaría de Energía de la Nación en virtud de lo dispuesto en el artículo 70 de la Ley 24.065 incrementará el gravamen dentro de los márgenes fijados por el mismo hasta 0,3 \$/MWh, destinado a conformar el FONDO FIDUCIARIO DE ENERGIAS RENOVABLES, que será administrado y asignado por el Consejo Federal de la Energía Eléctrica y se destinará a:

- I. Remunerar en hasta UNO COMA CINCO CENTAVOS POR KILOVATIO HORA (0,015 \$/kWh) efectivamente generados por sistemas eólicos instalados y a instalarse, que vuelquen su energía en los mercados mayoristas o estén destinados a la prestación de servicios públicos.
- II. Remunerar en hasta CERO COMA NUEVE PESOS POR KILOVATIO HORA (0,9 \$/kWh) puesto a disposición del usuario con generadores fotovoltaicos solares instalados y a instalarse, que estén destinados a la prestación de servicios públicos.
- III. Remunerar en hasta UNO COMA CINCO CENTAVOS POR KILOVATIO HORA (0,015 \$/kWh) efectivamente generados por sistemas de energía geotérmica, mareomotriz, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás, a instalarse que

vuelquen su energía en los mercados mayoristas o estén destinados a la prestación de servicios públicos. Están exceptuadas de la presente remuneración, las consideradas en la Ley 26.093.

- IV. Remunerar en hasta UNO COMA CINCO CENTAVOS POR KILOVATIO HORA (0,015 \$/kWh) efectivamente generados, por sistemas hidroeléctricos a instalarse de hasta TREINTA MEGAVATIOS (30 MW) de potencia, que vuelquen su energía en los mercados mayoristas o estén destinados a la prestación de servicios públicos. El valor del Fondo como la remuneración establecida, se adecuarán por el Coeficiente de Adecuación Trimestral (CAT) referido a los períodos estacionales y contenido en la Ley 25.957.

Los equipos a instalarse gozarán de esta remuneración por un período de QUINCE (15) años, a contarse a partir de la solicitud de inicio del período de beneficio.

Para la venta de energía al sistema nacional, se dictó la Resolución 108/2011 de la Secretaría de Energía de la Nación. Habilita la realización de CONTRATOS DE ABASTECIMIENTO entre el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y las ofertas de disponibilidad de generación y energía asociada, a partir de fuentes renovables, que sea presentada por agentes generadores, cogeneradores y autogeneradores.

En su Art 2° establece que se podrán presentar proyectos en los que participe el Estado Nacional, ENARSA, o LOS QUE DETERMINE EL SR. MINISTRO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL.

La vigencia de los contratos será por 15 años, con más una prórroga de 18 meses.

La remuneración se establecerá en base a los costos e ingresos que sean aceptados por la Secretaría de Energía.

Por consiguiente, para poder realizar la venta de energía al MEM, se requiere elaborar un proyecto técnico, de impacto ambiental y económico, determinando la potencia que se ofrece, la cantidad de energía a vender en el término de 15 años y el precio de venta del MWh. Este proyecto será presentado ante la Secretaría de Energía de la Nación para su análisis y aprobación.

Los mínimos de potencia para realizar estos contratos están establecidos en los procedimientos de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA) (<http://portalweb.cammesa.com/Pages/Institucional/Empresa/procedimientos.aspx>): 1 MW para eólica (Anexo 40), y para la energía proveniente del sol, biomasa, etc. (Anexo 39), fija en 500 kW la potencia mínima para realizar los contratos.

Conclusión

El estado actual de la cuestión que nos ocupa se puede resumir de la siguiente manera:

A nivel nacional, como se dijo antes, no está reglamentada la generación distribuida para autoconsumo

(pequeños generadores), solamente se puede aplicar mediante la resolución 108/2011 de la Secretaría de Energía, para grandes generadores.

A nivel provincial, Santa Fe ha dictado el Decreto reglamentario de las leyes provinciales 12.692 y 12.503, que prácticamente pone en vigencia el sistema de generación en isla o en paralelo con la red.

Otras provincias tienen reglamentaciones parciales que no están siendo aplicadas.

La provincia de Córdoba, desde el año 2011, viene trabajando en un proyecto de reglamentación que, a modo de puesta en marcha experimental, lo hace en la Comuna de La Rancherita y Las Cascadas. En ese lugar se instalaron 2080 Watt pico de energía solar fotovoltaica, interconectadas a la red de la Cooperativa Eléctrica local, con un medidor que registra la energía entregada a la red. Por otra parte, el Municipio consume energía para el alumbrado público en horario nocturno, con un medidor que registra lo consumido. Finalmente, cuando la Cooperativa emite la factura por el consumo eléctrico del alumbrado público, resta el total generado por los fotovoltaicos y la Municipalidad paga la diferencia. Esto es el procedimiento denominado generación distribuida para auto consumo.

Tanto EPEC como la Secretaría de Energía de la Provincia han autorizado esta instalación.

En consecuencia, dado que las reglamentaciones eléctricas están establecidas a nivel nacional y controladas por

el ENRE (Ente Nacional Regulador Energético), sería recomendable el dictado de normas en el mismo nivel para que sean de aplicación en todo el país

Por otra parte, si se quiere que el procedimiento tenga volumen de aplicación, se requiere el dictado de los procedimientos económicos de compensación y/o apoyo, para lograr la equidad entre los costos de producción y los de recupero de estos proyectos.