



CADERNOS ADEGA

G A L I Z A
N O N
É O
P A R A I S O



21

BIOCOMBUSTIBLES E BIOMASA FORESTAL (II)

- **Biorrefinarias**
- **Biocombustibles e alimentos**
 - **Leña e residuos**
 - **Captura de CO₂**
- **Ecoloxía Forestal**
- **Montes Veciñais**

OS AUTORES

Alfredo Llecha Galiñares
AA Solar Fotovoltaica S.L.

José A. Rodríguez Añón, Xurxo Proupín Castiñeiras e María Villanueva López
Grupo TERBIPROMAT. Universidade de Santiago de Compostela (USC)

Pablo Ligeró e Alberto de Vega
Universidade da Coruña

Miguel Angel Domenech Rojo
Grupo de Biocombustibles de Ingeniería Sin Fronteras Asociación para el Desarrollo

Lidia Senra
Secretaria de Organización do Sindicato Labrego Galego e membro do Comité de Coordinación da Coordinadora Europea Vía Campesina

Carmen Boente Cima
Presidenta da CMVMC de Xinzo (Ponteareas)

M.^a Mercedes Casal, Ana Muñoz e Xosé Manoel Pesqueira
Área de Ecoloxía, Facultade de Bioloxía, USC

César Pérez-Cruzado^{1,2}; Miguel Ángel Balboa-Murias^{1,3}; Andrea Ferreiro-Fernández^{1,4}; Agustín Merino^{1,4} e Roque Rodríguez-Soalleiro^{1,2}
¹Unidade de Xestión Forestal Sostible, USC. ²Departamento de Producción Vexetal, USC. ³Norvento. ⁴Departamento de Edafoloxía e Química Agrícola, USC.

Juan A. Álvarez
Departamento de Enxeñaría Química, USC

María Dolores Garabatos Pardo
IES Sánchez Cantón (Pontevedra)

Gonzalo Veiras
CIS-Madera Galicia

EDICIÓN E COORDINACIÓN

Manuel Soto Castiñeira
Departamento de Química Física e Enxeñaría Química, Universidade da Coruña

Belén Rodríguez
Xornalista e vogal de comunicación de ADEGA

Corrección Lingüística
Servizo de Normalización Lingüística da Universidade da Coruña

As ideas, afirmacións e posicionamentos vertidos polos autores en ADEGA CADERNOS son responsabilidade exclusiva dos mesmos. Permitida a reprodución, sempre que se cite a fonte. Editado en papel reciclado 100% para preservar os bosques, evitar a contaminación das celulosas e contribuír á reciclaxe do lixo.



ADEGA
Travesa de Basquiños 9 baixo
15704 Santiago de Compostela
Teléfono e Fax: 981 57 00 99
adega@adega.info
www.adega.info

ADEGA CADERNOS

Depósito Legal Nº.: 1390/96 ISSN.: 1137-0262
Edita: Asociación para a Defensa Ecolóxica de Galiza

Maquetación: distrito xermar
Dirección: Manuel Soto Castiñeira

Santiago de Compostela, novembro de 2011



ÍNDICE

1. APROVEITAMENTO DA BIOMASA FORESTAL MEDIANTE ROZA E OS SEUS EFECTOS ECOLÓXICOS 5

M^a Mercedes Casal, Ana Muñoz e Xosé Manoel Pesqueira

1.1 A BIOMASA COMO RECURSO FORESTAL	5
1.2 EFECTOS DA EXPLOTACIÓN DA BIOMASA.....	6
1.3 XESTIÓN SUSTENTABLE DO MONTE	7
1.4 RESPOSTA DA VEXETACIÓN Á ROZA	8

2. A BIOMASA: O SEU PAPEL NA PRESERVACIÓN DE SOLOS E NA CAPTURA DE CO₂..... 13

**César Pérez-Cruzado, Miguel Ángel Balboa-Murias, Andrea Ferreiro-Fernández,
Agustín Merino e Roque Rodríguez-Soalleiro**

2.1 O PROBLEMA AMBIENTAL DO CONSUMO ENERXÉTICO	13
2.2 CONCEPTO DE BIOMASA DESDE O PUNTO DE VISTA DO APROVEITAMENTO ENERXÉTICO.....	14
2.3 EFECTO DE MITIGACIÓN DO EFECTO INVERNADOIRO.....	14
2.4 EFECTO DA XESTIÓN SOBRE A MATERIA ORGÁNICA DO SOLO.....	17
2.5 EFECTO SOBRE A DEGRADACIÓN DO SOLO: A EROSIÓN E A PERDA DE FERTILIDADE	18
2.6 EFECTO SOBRE A PAISAXE E A BIODIVERSIDADE	19
2.7 RECOMENDACIÓNS PARA O APROVEITAMENTO DA BIOMASA	20

3. A CODIXESTIÓN ANAEROBIA COMO SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ENERXÍA A PARTIR DE RESIDUOS 23

Juan A. Álvarez e María Dolores Garabatos Pardo

3.1 INTRODUCCIÓN	23
3.1.1 Características e uso do biogás	24
3.2 O PROCESO DE DIXESTIÓN ANAEROBIA.....	25
3.2.1 Fases da dixestión anaerobia	25
3.2.2 Produción de metano	26
3.3 CHAVES DA DIXESTIÓN ANAEROBIA: CODIXESTIÓN ANAEROBIA	27
3.3.1 Parámetros ambientais e operacionais.....	27
3.3.2 Potenciais e rendementos	28
3.3.3 Codixestión anaerobia	30
3.3.4 Acondicionamento do substrato previo á produción de biogás	31
3.3.5 Xestión dos residuos e dos subprodutos	31
3.4 DIAGRAMA E EXEMPLOS DE PLANTAS DE BIOGÁS EN ESPAÑA	32
3.4.1 Planta de codixestión de Ecobiogas	33
3.4.2 Planta de tratamento de esterco de TRACJUSA.....	35

4. O USO DE IVERTEBRADOS COMO MATERIA PRIMA PARA PRODUCIR BIODIÉSEL 39

**Alfredo Llecha Galiñares, José A. Rodríguez Añón, Xurxo Proupín Castiñeiras e
María Villanueva López**

4.1 INTRODUCCIÓN	39
4.2 UTILIZACIÓN DE INVERTEBRADOS COMO MATERIA PRIMA PARA ELABORAR BIOCMBUSTIBLES DE TERCEIRA XERACIÓN.....	40

4.3 CUESTIÓNS DE BIOSEGURIDADE	42
4.4 PRIMEIROS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	42
4.5 POSIBILIDADES DE IMPLANTACIÓN DOS COMBUSTIBLES DE TERCEIRA XERACIÓN A PARTIR DE INVERTEBRADOS EN GALICIA	44

5. O PROXECTO “QUALITY WOOD”: LEÑA ECOEFICIENTE E DE CALIDADE..... 47

Gonzalo Veiras

5.1 INTRODUCCIÓN	47
5.2 O USO DA LEÑA COMO FONTE DE ENERXÍA EN GALIZA	48
5.3 COMO ARDE A LEÑA?	50
5.4 O TIPO DE LEÑA: CONÍFERAS OU FRONDOSAS.....	50
5.5 COMO ACTUAR PARA REDUCIR A EMISIÓN DE PARTÍCULAS?	51
5.6 TECNOLOXÍAS EFICIENTES DE COMBUSTIÓN DE LEÑA	52
5.7 NORMATIVA DE CALIDADE PARA A LEÑA COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO.....	53
5.8 TECNOLOXÍAS DE APROVEITAMENTO E PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DA LEÑA.....	57
5.8.1 O aproveitamento forestal	57
5.8.2 Tronzado e fendido en planta	57
5.8.3 Secado	57
5.8.4 Envasado e comercialización	58

**ADEGA CADERNOS Nº20
BIOCOMBUSTIBLES E BIOMASA FORESTAL (I)**

PRESENTACIÓN 5

Manuel Soto

1. O CAMIÑO CARA ÁS BIORREFINARÍAS 9

Alfredo Llecha Galiñares, José A. Rodríguez Añón, Xurxo Proupín Castiñeiras e María Villanueva López

2. A BIORREFINARÍA: O APROVEITAMENTO INTEGRAL DA BIOMASA E DOS SUBPRODUTOS 17

Alberto de Vega e Pablo Ligero

3. INCIDENCIA DOS BIOCOMBUSTIBLES NAS COMUNIDADES RURAIS E O SEU MEDIO AMBIENTE EN PAÍSES DO SUR..... 27

Miguel Ángel Domenech Rojo

4. CULTIVOS ENERXÉTICOS E PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS NA GALIZA: SON COMPATÍBEIS? 37

Lidia Senra

5. PROXECTO DE BIOMASA NA COMUNIDADE VECIÑAL DE MONTES DE XINZO (PONTEAREAS)..... 45

Carmen Boente Cima

1. APROVEITAMENTO DA BIOMASA FORESTAL MEDIANTE ROZA E OS SEUS EFECTOS ECOLÓXICOS

M.^a Mercedes Casal, Ana Muñoz e Xosé Manoel Pesqueira

1.1 A BIOMASA COMO RECURSO FORESTAL

A vexetación actual de Galicia é unha vexetación seminatural en cuxo mantemento inflúe, directa ou indirectamente, a actividade antrópica, o que favorece a existencia de ecosistemas en diferentes etapas de sucesión ecolóxica.

Desde a aparición da agricultura coñécense diversos aproveitamentos do monte que producen a ruptura na dinámica natural da paisaxe e a destrución do estado climático (Guitián e González, 1996). Concretamente, no noroeste peninsular, o inicio da humanización da paisaxe comeza coa introdución da agricultura e da gandaría a partir do 5500 AP e os procesos deforestadores faránse máis frecuentes a partir do 3000 AP, conducindo á progresiva substitución do bosque por ecosistemas arbustivos e herbáceos até configurar o actual aspecto da paisaxe. Deste modo, xa na Idade Media, a paisaxe galega caracterizábase por un predominio da matogueira ou mato e por unha descontinuidade das masas arboradas (Guitián, 2001).

Até mediados do século XX, o monte foi unha parte fundamental na economía tradicional do centro e norte da península Ibérica grazas aos seus distintos aproveitamentos. É fundamental o papel do monte como produtor de madeira e leña, como soporte da gandaría, con achegas de pasto, e tamén como fonte doutros produtos diversos como a caza, o mel, froitos etc. Entre eles a biomasa forestal foi e é, sen dúbida, un recurso abundante do monte galego.

A biomasa é a materia orgánica orixinada nun proceso biolóxico que se pode utilizar como fonte de enerxía e normalmente con este termo referímonos a biomasa vexetal ou fitomasa. A biomasa forestal procede de sistemas forestais rasos ou arborados e de residuos industriais de madeira, como por exemplo a que procede de residuos forestais xerados nas tarefas silvícolas realizadas nas masas arboradas ou a procedente de operacións de roza de matos e sotobosques, aplicadas como medida de prevención de incendios.



Outra orixe é a dos cultivos enerxéticos que se obteñen a partir de explotacións agrícolas ou forestais, en que o único obxectivo é obter biomasa cun importante potencial enerxético. A sementeira de plantas para obter biocombustibles (principalmente o millo, a colza, a soia ou a palmeira aceitera) implica a destrución do ecosistema orixinal, a labra da terra e o crecemento intensivo das plantas para a súa explotación. Esta forma de aproveitamento intensivo pode chegar a provocar o esgotamento dos nutrientes do solo. Ademais disto, actualmente xa hai numerosos exemplos dos efectos ecolóxicos destes cultivos en diferentes países. Concretamente, en América do Sur, o cultivo de soia relacionouse coa extensión de determinadas pragas de mosquitos (*Aedes*) e doenzas víricas transmitidas por eles mesmos aos humanos (caso do dengue). Isto é debido a que os cultivos son tratados con pesticidas que afectan de maneira importante aos solos e aos ecosistemas acuáticos, destrúen poboacións de anfibios e peixes que son os depredadores naturais das larvas destas especies de mosquito, o cal ten como resultado a perda dos mecanismos de control sobre a poboación do insecto. Xa que logo, a introdución dun cultivo intensivo mantido con técnicas duras leva asociada a destrución do ecosistema orixinal, o esgotamento do solo e, incluso en zonas próximas, a destrución das redes tróficas que regulan as relacións entre as diferentes especies.

1.2 EFECTOS DA EXPLOTACIÓN DA BIOMASA

Cando se decide explotar a biomasa dun ecosistema determinado, o impacto ambiental será diferente dependendo da xénese desa biomasa. De modo xeral podemos sinalar como efectos máis salientables da retirada da biomasa forestal, os seguintes:

- A erosión, se a explotación é intensiva e se se atende pouco ao risco de erosión do solo, pódense ocasionar danos importantes con algunhas operacións silvícolas. Por exemplo, as vías de saca da madeira e de leña son fonte de erosión moi intensa do solo.
- O esgotamento dos nutrientes do solo, se se realizan cultivos enerxéticos en vez dun aproveitamento dos residuos agrarios e forestais.
- A destrución da biomasa fotosintetizadora, coa posterior lenta recuperación das comunidades vexetais rozadas
- A alteración da comunidade animal e das relacións tróficas
- A modificación do microclima e da regulación dos ciclos pola falta da vexetación.

No caso da roza de matogueiras ou matos, os efectos dependen directamente de múltiples factores como son a frecuencia de corta, o tamaño da superficie limpada ou perturbada, e o valor ecolóxico da vexetación que se roza. Alén diso, tamén inflúen outros factores como a intensidade dos danos e mais a época do ano en que se fai a roza (Sousa, 1984).

1.3 XESTIÓN SUSTENTABLE DO MONTE

Desde o punto de vista ecolóxico, o máis importante é facer unha explotación sustentable dos recursos que ofrece o monte, incluíndo, por suposto, o aproveitamento da biomasa forestal con diversos fins.

Durante séculos, a poboación rural (a humanidade) obtivo beneficio do monte a través de diversas prácticas, das cales ás máis usadas en Galicia foron a queima controlada, o pastoreo e a roza. Estas mesmas prácticas culturais estiveron moi estendidas por toda Europa, desde Escandinavia até o Mediterráneo (Trabaud, 1989).





Figura 1. Mato rozado en Malpica.

A queima controlada utilízase para abrir ecosistemas pechados e conseguir pastos, mais tamén en labores previos á agricultura, como a cava para así aproveitar a fertilidade das cinzas no terreo que se vai sementar. No NO da península Ibérica, este tipo de queima realizábase en mato esencialmente de toxo e, en menor medida, de xesta (Balboa, 1990). Quere isto dicir que, unha vez recollida a colleita, a terra non se abandona, senón que segue a ser aproveitada. Esta perturbación orixina unha paisaxe caracterizada por manchas de vexetación en diferentes estadios de desenvolvemento, o que contribúe a unha renovación do mato e impide o envellecemento da vexetación (Cornide, 2001).

Outro dos aproveitamentos do monte é o pastoreo. O monte asegura na economía tradicional o soporte da cabana gandeira. O gando vacún, cabalar, caprino e lanar, teñen un carácter polivalente, xa que ademais de fertilizar as terras e producir sobre todo carne e leite, complementa a economía agraria de moitas zonas (Rigueiro et al., 2002).

Finalmente, está a roza ou a corta do mato. Especialmente no SO de Europa (oeste de Francia, norte de España e norte de Portugal), a roza é a práctica tradicional máis usada en anos recentes (Rigolot et al., 1998; Álvarez et al., 2005), de aí que se considere, xunto coas queimas controladas e o pastoreo, unha das posibles causas da orixe das comunidades de mato. Operacións tradicionais como a roza tiñan diversos fins, tales como conseguiren a transformación da superficie en pasto ou dispoñeren de material vexetal para o seu uso como cama de gando ou combustible (Chantada-Acosta 1990). Os produtos da roza teñen moitos usos diversos (Bao, 1989). Porén, os cambios demográficos sufridos nos últimos anos, a política estatal e a adhesión de España á CEE foron procesos que acabaron por romper o sistema agrario tradicional galego (Marey et al. 2004, 2006).

Diversos estudos realizados en España mostran resultados que confirman que a roza é o manexo máis conservador, que afecta a toda a comunidade de mato ou de sotobosque, e xera un bo crecemento posterior desta vexetación, moi equilibrado e con alta diversidade (Fernández-Santos et al. 1992; Calvo et al., 2002a, 2002b; Pesqueira et al., 2005).

Os tres tipos de manexo poden ser integrados en programas de xestión e conservación dos ecosistemas, para manter a súa estrutura e a súa diversidade vexetal en condicións determinadas, ou para evitaren que evolucionen cara a estadios non recomendables no marco da conservación. A recuperación dos usos tradicionais, como a roza, poden contribuír á conservación de comunidades vexetais de grande importancia ecolóxica e alto risco de colapso, como son claramente os matos de Erica

ciliaris e *Erica tetralix* (Muñoz, 2009). Unha xestión adecuada que inclúa esta práctica permite a obtención de biomasa como recurso enerxético e á vez axuda á conservación da paisaxe e da súa diversidade, o que permite recomendala en programas de conservación de ecosistemas forestais.

1.4 RESPOSTA DA VEXETACIÓN Á ROZA

A roza desencadea o proceso de sucesión secundaria dado que evita que as comunidades acaden a súa etapa clímax (Muñoz, 2009). Esta actividade elimina o dosel vexetal, polo que moitos recursos fican dispoñibles o cal tamén axuda a xerminar moitas das sementes presentes no banco edáfico. Ademais, as xemas vexetativas das plantas non resultan tan afectadas coma noutras perturbacións, polo que a capacidade de rebrote de moitas delas non resulta afectada, posto que axiña poden recuperar os seus valores de cobertura e biomasa. A roza contribúe á creación de diversas cohortes de clases de idade nunha comunidade, o cal é un dos obxectivos da xestión. Nótese que a existencia dun alto número de unidades vexetais pertencentes a diferentes clases de idade e desenvolvemento sucesional axuda á creación dun mosaico paisaxístico que permite a presenza dun maior número de especies vexetais e animais (Muñoz, 2009).

A recuperación da comunidade vexetal tras a roza depende da capacidade de rebrote das especies implicadas, a cal está influenciada por diversos factores, como a humidade, o pH e os nutrientes do solo, a idade dos individuos no momento da perturbación e o tipo de perturbación (Fernández Santos et al., 1992; Reyes et al., 2000; Calvo et al., 2002a).

Son numerosos os estudos realizados en España sobre a resposta da vexetación a diferentes usos como a roza, o pastoreo e a queima controlada. Calvo et al. (2002a, 2002b) descubriron que o tratamento a que se somete unha comunidade vexetal inflúe directamente na súa recuperación. Desta maneira, atoparon que un matogueira mediterránea dominada por *Calluna vulgaris* responde moito mellor á queima e ao arranque que á roza. A roza favorece o desprazamento da mencionada especie por outras rebrotadoras como a *E. tetralix*, e obsérvase ademais unha alta mortalidade de plántulas de *Calluna* no terceiro e cuarto ano. A posible causa é a idade da comunidade de *C. vulgaris*, que no momento da perturbación contaba con máis de 30 anos. Calvo et al. (2002a) propoñen queimas controladas cada 10-15 anos para a xestión das comunidades de *C. vulgaris*. En cambio, nos mesmos estudos demostrouse que a recuperación dos valores de cobertura dunha comunidade de *Erica australis* non presenta diferenzas importantes ao comparar queima controlada e roza.

En Galicia, a roza da vexetación estúdase desde 1978 (Basanta, 1978). Xa en 1984, Casal et al. comprobaron en sotobosques de *Ulex europaeus* baixo *Pinus pinaster* que a roza é un manexo pouco perturbador, pois apenas inflúe na riqueza específica e na diversidade da comunidade afectada, xa que todos os grupos e especies vexetais se rexeneran con similar intensidade e fano principalmente mediante rebrote. A recuperación da cobertura e da biomasa tras a roza ten un ritmo intenso e Casal et al. (1984) concluíron que os cambios máis notables deben agardar a que se produzan nun prazo de tempo máis longo ou, mellor aínda, que sexa a reiteración deste manexo a que chegue a deixar unha pegada máis profunda na estrutura da biocenose. O importante é non sobrepasar a capacidade de recuperación das especies: as comunidades rozadas hai 10 anos presentan valores de cobertura e biomasa moi próximos aos de comunidades rozadas hai menos tempo. Cabe destacar que a roza é unha perturbación pouco daniña cando se realiza de xeito manual, xa que produce efectos menos drásticos sobre o medio que outras formas de uso ou perturbación.



Nos últimos anos, o estudo ecolóxico da roza estendeuse a outras comunidades de mato, e obtivéronse resultados similares en comunidades moi diferentes entre si. A roza provoca unha resposta da vexetación moi intensa, na cal os diferentes grupos e especies teñen uns valores similares, máis equilibrados que no caso doutras perturbacións como a queima controlada. A cobertura recupérase principalmente grazas ás especies moi rebrotadoras, entre as cales teñen un papel importante aquelas que rebrotan con menos intensidade. A roza, en cambio, apenas induce a xerminación de sementes nin a aparición de plántulas (Pesqueira et al., 2005; Muñoz, 2009; Pesqueira, 2010).

Un dos estudos máis recentes da roza na comunidade autónoma galega é o realizado por Muñoz (2009) en brexeiras húmidas de *E. ciliaris* e de *E. tetralix* ou brañas. Estas comunidades están incluídas na Directiva Hábitat (92/43/CEE) coa consideración de ecosistemas de interese prioritario para a súa conservación. A xestión e conservación destes ecosistemas está baseada no manexo destas brexeiras a través de prácticas tradicionais, como a roza, aplicadas de maneira sustentable. Concretamente, Muñoz (2009) estudou 20 comunidades de mato de braña sometidas á roza, nas cales podían diferenciarse até catro etapas diferentes de desenvolvemento sucesional. O estudo da dinámica da cobertura vexetal ao longo das ditas etapas demostra que co paso do tempo se produce un aumento rápido da estratificación vertical e da superposición horizontal até acadar en poucos anos a estrutura propia das etapas maduras destas comunidades. Os cambios temporais da diversidade das especies leñosas son pequenos, mentres que a das especies herbáceas diminúe.

Na Figura 2 pódese observar que as brañas pertencentes á etapa 1 posúen unha gran cobertura leñosa, con valores que pasan do 75%, o que indica que existe moi pouca cantidade de solo libre desta vexetación. Hai que salientar que se trata dunha vexetación baixa, de aproximadamente 25 cm de altura e elevada cobertura. O desenvolvemento posterior implica maior crecemento en altura, superposición e biomasa.

Resultados similares atopou Pesqueira (2010) en matogueiras méxicas de costa dominados por *Ulex gallii* e *E. ciliaris* (Figura 2). Na súa investigación o autor estudou a evolución estrutural dunha comunidade de matogueira durante os tres primeiros anos tras unha roza e considerou que o estado final da vexetación se corresponde cunha 2.ª etapa da sucesión. Tamén atopou que se producen cambios importantes

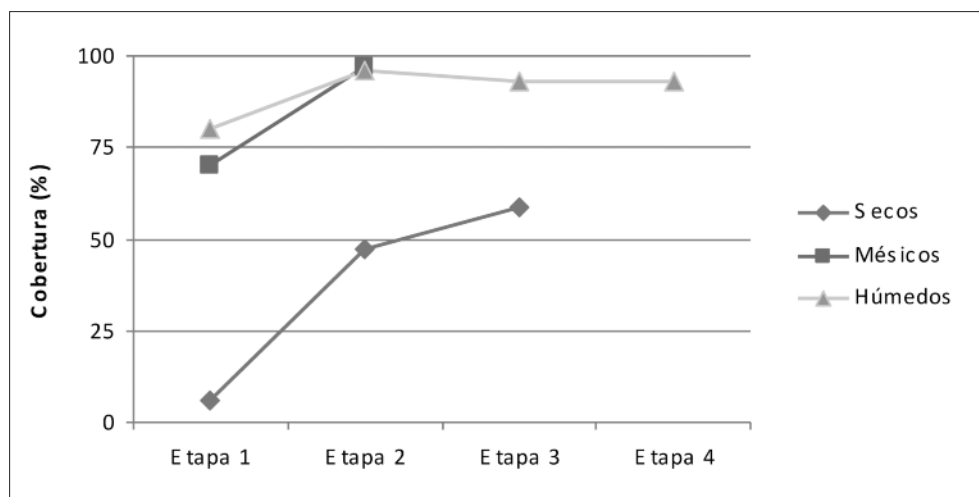


Figura 2. Cambios temporais despois da roza da cobertura da vexetación leñosa en tres tipos de matogueiras despois da roza (Casal et al., 1984; Pesqueira et al., 2005, Muñoz, 2009).



na estrutura vexetal que indican que a comunidade de mato respondeu de xeito positivo á roza. A estratificación vertical experimentou os principais cambios durante o primeiro ano e medio de sucesión secundaria, tempo en que xerou unha cobertura case total do solo sen que houbera practicamente cambios na diversidade.

O proceso de rexeneración natural da vexetación forestal ten lugar seguindo un modelo ecolóxico similar nas áreas de Galicia estudadas. Este modelo consiste nunha sucesión temporal de catro etapas ben diferenciadas: unha primeira etapa caracterizada por unha maior porcentaxe de solo libre de vexetación leñosa e herbácea e desprotexido; a segunda, caracterizada polo forte crecemento das poboacións das especies leñosas e herbáceas, en cobertura, altura e biomasa; a terceira, por unha en que a vexetación que acada lentamente unha maior estrutura e organización, cambios que se enlentece moito aos 8 anos (Casal et al., 1984). Finalmente, a cuarta etapa está caracterizada por cambios moi lentos na estrutura e composición das matogueiras e por comezar un estadio en que as especies arbóreas teñen un progresivo maior papel.

Táboa 1: Etapas detectadas na rexeneración natural das matogueiras rozadas, con idades e biomases aproximadas. (Casal et al., 1984, Basanta et al., 1989; Pesqueira et al., 2005, Muñoz, 2009).

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Idade	<1 ano	1- 3 anos	3-10 anos	10-20 anos
Biomasa	0,5-2,5 t/ha	4,5-11 t/ha	14-24 t/ha	37-42 t/ha
Descrición	Pouca vexetación leñosa e herbácea	Incremento rápido da vexetación leñosa e herbácea	Incremento lento da vexetación leñosa. Estrutura complexa	Incremento moi lento da vexetación leñosa. Entrada das árbores

A roza, ao igual que calquera outro tipo de perturbación, de maneira repetida pode levarnos a situación de “paradoxo ecolóxico”: a máis repetición dunha perturbación, máis degradación e máis risco de incendio. Repárese en que as especies vexetais teñen adaptacións que lles permiten sobrevivir ás perturbacións e responder tras elas, cando a perturbación ten lugar dunha forma equilibrada coa duración do seu ciclo de vida e co tempo que necesitan para repoñer as reservas gastadas nos rebrotes. Por iso, un ciclo de rozas demasiado curto pode ser degradatorio para a vexetación e pode minguar as características de protección de solos, de especies e de regulación de ciclos dos elementos. Na xestión forestal, a roza debe ser utilizada en ciclos axeitados para cada tipo de ecosistema.

REFERENCIAS

- ÁLVAREZ, R.; MUÑOZ, A., PESQUEIRA, X.M., REYES, O., CASAL, M. 2005. Paisaje vegetal en un valle con alta recurrencia de incendios: caracterización ecológica de las comunidades leñosas del Valle de Ancares con relación al fuego y el uso humano. En: Soc. Esp. de Ciencias Forestales (Ed.) 4º Congreso Forestal Español. La ciencia forestal: respuesta a la sostenibilidad. Publ. en CD.
- BAO, M. 1989. El matorral como recurso renovable. Academia Galega de Ciencias. Santiago de Compostela.
- BALBOA, X. 1990. O monte en Galicia. Xerais. Vigo.
- BASANTA, M. 1978. Comparación de diferentes métodos al estudio de la sucesión vegetal en pinares después de la roza del matorral. Tesina de Licenciatura. Universidad de Santiago.
- BASANTA, M., DIAZ VIZCAINO, E., CASAL, M. (1988). "Structure of shrubland communities in Galicia (NW Spain)". En: H.J. During, M.J. Werger and H.J. Willems (eds.), Diversity and Pattern in Plant Communities, pp.: 25-36. SPB Academic Publishing. La Haya.
- CALVO, L., TÁRREGA, R., DE LUÍS, E. 2002a. The dynamics of Mediterranean shrubs species over 12 years following perturbations. Plant Ecology, 160 (1): 25-42.
- CALVO, L., TÁRREGA, R., DE LUÍS, E. 2002b. Secondary succession after perturbations in a



shrubland community. *Acta Oecologica*, 23: 393-404.

- CASAL, M., BASANTA, M., GARCÍA NOVO, F. 1984. *Ecología de la regeneración del monte incendiado en Galicia*. Monografía nº 99, Servicio de Publicaciones. Universidad de Santiago de Compostela.

- CHANTADA-ACOSTA, X.R. 1990. *A paisaxe agraria na Galicia Noroccidental*. Cuadernos da Área de Ciencias Agrarias. Ed. Seminario de Estudos Galegos. Sada.

- CORNIDE, T. 2001. *Dinámica de las comunidades de Cytisus striatus (Hill) Rothm. y Cytisus multiflorus (L'Hér.) Sweet en la Galicia interior*. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

- FERNÁNDEZ-SANTOS, B., GÓMEZ-GUTIÉRREZ, J.M., TÁRREGA, R. 1992. Efectos de la Quema, Corte, Arranque, Abandono o Pastoreo del matorral de escoba blanca (*Cytisus multiflorus*) sobre la producción y estructura de la comunidad herbácea. *Pastos*, XXII (2): 131-146.

- GUITIÁN L., GONZÁLEZ R. Coordinadores. 1996. *Actividad humana y cambios en el paisaje*. Universidade de Santiago de Compostela. Consellería de Cultura. Xunta de Galicia. Santiago.

- GUITIÁN, L. 2001. *La destrucción del monte en Galicia*. Universidade de Santiago de Compostela. SEMATA, Ciencias Sociais e Humanidades. Vol. 13: 105-166.

- MAREY, M.F., CRECENTE, R., RODRIGUEZ, V. 2004. *Claves para comprender los usos del monte en Galicia (España) en el siglo XX*. II Simposio Iberoamericano de Gestión y Economía Forestal. Centre Tecnologic de Catalunya. Barcelona.

- MAREY, M.F., CRECENTE, R., RODRIGUEZ, V. 2004. *Using GIS to measure changes in the temporal and spatial dynamics of forestland: experiences from north-west Spain*. *Forestry*, 3: 1-15.

- MUÑOZ, A.. 2009. *Estructura y dinámica de comunidades de Erica ciliaris y Erica tetralix en el marco de la gestión sostenible*. Tesis Doctoral. Universidade de Santiago de Compostela.

- PESQUEIRA, X.M., MUÑOZ, A., ALVAREZ, R., GARCÍA-DURO, J., REYES, O., BASANTA, M., CASAL, M. 2005. *Estudio ecológico del matorral atlántico de interés para la conservación. Respuesta estructural a usos tradicionales en Galicia*. *Rev. Academia Galega de Ciencias*, XXIV: 41-60.

- PESQUEIRA, X.M. 2006. *Caracterización y dinámica de comunidades de matorral atlántico en relación con usos tradicionales*. Tesina de Licenciatura. Universidad de Santiago de Compostela.

- PESQUEIRA, X.M. 2010. *Análisis estructural de comunidades de matorral de Galicia. Influencia de usos tradicionales*. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

- REYES, O., BASANTA, M., CASAL, M., DÍAZ-VIZCAÍNO, E. 2000. *Functioning and dynamics of woody plant ecosystems in Galicia (NW Spain)*. En: *Life and Environment in the Mediterranean*. (L. Trabaud, ed.). WIT Press. Southampton. pp.: 1-41.

- RIGOLOT, E., ETIENNE, M., LAMBERT, B. 1998. *Different fire regime effects on a Cytisus purgans community*. En : L. Trabaud (Ed.) *Fire Management and Landscape Ecology*. Pp.: 137-145. International Association of Wildland Fire. Fairfield. USA.

- RIGUEIRO, A., MOSQUERA, R. LÓPEZ, L., PASTOR, J. C., GONZÁLEZ M. P., ROMERO, R., VILLARINO, J. J. 2002. *Reducción del riesgo de incendios forestales mediante pastoreo del caballo gallego de monte*. En: F. J. Silva-Pando, R. Mosquera y G. Puerto (Eds.) *Actas de la I reunión sobre sistemas agroforestales y I reunión sobre gestión de espacios naturales*. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 14: 115-117.

- SOUSA, W.P. 1984. *The role of disturbance in natural communities*. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 15: 353-391.

- TRABAUD, L. 1989. *Les feux de forêts*. France-Selection. Aubervilliers. Francia.



2. A BIOMASA: O SEU PAPEL NA PRESERVACIÓN DE SOLOS E NA CAPTURA DE CO₂

César Pérez-Cruzado; Miguel Ángel Balboa-Murias; Andrea Ferreiro-Fernández; Agustín Merino e Roque Rodríguez-Soalleiro

Neste traballo faise unha reflexión sobre os efectos do aproveitamento e cultivo da biomasa sobre o solo e sobre a captura de CO₂. Trátanse temas relacionados coas opcións de mitigación do efecto invernadoiro polos cultivos enerxéticos, así como o efecto da xestión dos cultivos enerxéticos sobre a materia orgánica do solo e sobre a degradación deste. Por último, achégase unha serie de recomendacións de xestión das plantacións enerxéticas.

2.1 O PROBLEMA AMBIENTAL DO CONSUMO ENERXÉTICO

O continuo incremento nas concentracións de CO₂ atmosférico que se vén producindo desde hai máis de dous séculos, debido sen lugar a dúbidas ao efecto antrópico, fai que a preocupación polo denominado efecto invernadoiro transcenda do ámbito científico. Neste sentido, as distintas administracións estanse a implicar activamente no desenvolvemento de medidas que sirvan para reducir as emisións de CO₂ á atmosfera, aínda que a falta de acordo nos compromisos tras o último Cumio de Copenhague é bastante desesperanzadora no sentido de definir medidas concretas que diminúan o actual ritmo de emisións. Malia que na actualidade se están a probar distintas metodoloxías para capturar CO₂ atmosférico e almacenalo en formas estables, a mitigación do efecto invernadoiro pasa ineludiblemente pola redución das emisións, algo que só se pode acadar a curto prazo pola substitución dos combustibles fósiles por outras fontes de enerxía renovables.

Considéranse enerxías renovables aquelas que son capaces de se rexeneraren nun ciclo curto e permitiren, polo tanto, un aproveitamento continuado no tempo sen que o recurso se esgote. Dentro destas enerxías é a biomasa a de máis antigo aproveitamento, pois o comezo do seu uso como combustible marcou o inicio da historia da humanidade. A enerxía procedente da biomasa aínda supón na actualidade unha porcentaxe importante do total do consumo enerxético mundial, posto que hai moitas rexións, principalmente no terceiro mundo, onde é a única fonte de enerxía dispoñible de xeito xeral para toda a poboación. É no outro extremo do mundo, nos países nórdicos, onde o uso enerxético da biomasa volve acadar unha



importancia significativa ao se empregar, fundamentalmente, para a xeración de calor en pequenas plantas de combustión.

2.2 CONCEPTO DE BIOMASA DESDE O PUNTO DE VISTA DO APROVEITAMENTO ENERXÉTICO

Dentro do concepto coñecido como biomasa atópase un conxunto de materiais que teñen como característica común que todos eles son o resultado dun proceso biolóxico. Este concepto amplo de biomasa engloba todos os organismos vivos, así como os produtos derivados destes (necromasa ou biomasa morta), mais non todos eles teñen interese desde o punto de vista do aproveitamento enerxético. Dentro do ámbito enerxético, o termo biomasa refírese ao recurso en que, canto resultado dun proceso biolóxico, a enerxía contida nos enlaces químicos da propia composición da materia pode ser transformada noutra forma aproveitable nos sistemas de produción mediante unha determinada tecnoloxía.

Aínda que existen moitos tipos de biomasa que poden ser aproveitados para a produción enerxética, son os derivados dos vexetais os máis empregados, debido fundamentalmente a que poden ser obtidos en grandes cantidades e de xeito sostible, algo que non ocorre, por exemplo, con algunhas fontes de biomasa de orixe animal. Dentro do grupo de biomasa vexetal teríamos dous xeitos distintos de produción: un en que a biomasa sería o seu produto obxectivo (cultivos enerxéticos), e outro en que a biomasa sería un subproduto ou mesmo un residuo. No caso de que o subproduto non teña ningún tipo de destino alternativo o aproveitamento enerxético suporía a súa valorización e evitaría o seu desaproveitamento.

Cando falamos de cultivos enerxéticos debemos distinguir entre as distintas tipoloxías; así, a continuación detállanse a grandes trazos as distintas categorías que se poden presentar. Unha primeira clasificación distingue entre cultivos herbáceos e cultivos leñosos. Esta clasificación unicamente obedece á humidade da biomasa no momento da colleita, posto que esta é unha característica que condiciona o posterior tratamento e o proceso de transformación da biomasa. Unha segunda clasificación podería facerse en función da frecuencia entre colleitas, de forma que teríamos cultivos de colleita anual e cultivos perennes. En xeral, os cultivos herbáceos adoitan coincidir cos de colleita anual e os perennes cos leñosos. Dentro destes últimos aínda se poderían diferenciar dous grupos máis en función do sistema de reprodución tras a primeira corta, diferenciando neste caso entre os que brotan do pé dos que non o fan. Desta forma poderían seguirse dous tipos de manexos tras a plantación inicial: reinstalar de novo o cultivo ou aproveitalo mediante sucesivas colleitas até que diminúa a produción por debaixo dun determinado nivel.

Outra clasificación sinxela da biomasa como produto sería aquela derivada do seu posterior proceso de transformación; así a biomasa pode ser empregada directamente mediante distintos procesos (combustión, pirólise, gasificación etc.), ou transformada en combustibles de segunda xeración, os cales se poden empregar para o transporte ou almacenarse ocupando un menor volume. Como é lóxico pensar, o rendemento enerxético é distinto para cada un dos destinos, tipo de materiais de orixe e forma final en que se consome a enerxía.



2.3 EFECTO DE MITIGACIÓN DO EFECTO INVERNADOIRO

Son dúas as formas en que o cultivo e o aproveitamento da biomasa poden axudar a mitigar o efecto invernadoiro: aumentando o stock de carbono, e a través do denominado efecto substitutivo. A primeira opción refírese a que os sistemas fores-

tais almacenan carbono en distintos compartimentos, de entre os cales os máis importantes son a propia biomasa viva, a terra vexetal e o solo. O contido en carbono nestes tres compartimentos garda un equilibrio que vén condicionado pola dinámica de incorporación de biomasa morta procedente da parte aérea e radicular ao solo e formación de terra vexetal, descomposición, complexado e incorporación da materia orgánica da terra vexetal ao solo mineral, e mineralización da materia orgánica do solo en nutrientes dispoñibles para a planta (Liski et al., 2005). O resultado da dinámica descrita é a cantidade de carbono que atopamos nun determinado momento nos sistemas forestais, mentres que a importancia de considerar estes tres compartimentos separadamente vén dada porque o tempo de permanencia do carbono, así como os efectos da xestión a que a masa se atopa sometida, é distinta en cada un deles.

O tempo de permanencia do carbono no solo é moito máis elevado que na biomasa, por mor de que a materia orgánica do solo está formada por compostos de elevada estabilidade (Romanyá, 2000), mentres que se pode considerar que a transformación da biomasa tras o aproveitamento é inmediata, así como a liberación de parte do carbono contido nela. A materia orgánica do solo constitúe unha reserva de carbono a longo prazo en que a dinámica de incorporación vén marcada pola cantidade de biomasa presente nos horizontes orgánicos do solo (Hendrickson et al., 1985), os cales son a terra vexetal durante o crecemento da plantación e os restos de corta nos momentos posteriores ao aproveitamento. Por tanto, a xestión das plantacións enerxéticas debe ir encamiñada ao mantemento ou mellora da cantidade de carbono presente na terra vexetal e no solo previamente á plantación, de forma que non só se maximice o stock de carbono en cada momento, senón que se asegure unha achega continua de materia orgánica fresca ao solo e o mantemento da súa fertilidade potencial.

Outro compartimento que pode supoñer un elevado stock de carbono é a biomasa xa colleitada ou os produtos derivados desta. Como queira que a industria de transformación da biomasa require dun abastecemento continuo para o seu normal funcionamento, son necesarios períodos de almacenamento da biomasa sen transformar máis ou menos longos, pois por limitacións climáticas e fisiolóxicas non é posible recoller en todas as épocas do ano (McKendry et al., 2002; Bullard et al., 2002). Aínda que este almacenamento non adoita durar máis dun ano, as cantidades de biomasa almacenadas para a súa transformación poden ser bastante elevadas e dependentes do consumo da industria en cuestión. O carbono almacenado desta forma, xunto co consumido directamente para a produción enerxética, é a única vía en que a xestión dos sistemas forestais pode contribuír directamente á redución das emisións netas, ao tempo que outras prácticas fican reducidas ao aumento do secuestro.

Outro caso en que a almacenaxe de produtos derivados da biomasa pode ser máis longa é nos combustibles de segunda xeración, caso do biodiésel e o bioetanol. Estes tipos de combustibles foron concibidos para que, alén de seren consumidos polo sector do transporte, permitir almacenar grandes cantidades de enerxía nun pequeno volume e mellorar, así, a eficiencia enerxética no seu transporte. Aínda que o tempo de permanencia dos combustibles de segunda xeración é moi limitado con respecto a outros bens de consumo, como por exemplo os mobles, estes combustibles abren a posibilidade de utilización no sector do transporte, un dos que máis contribúe ao efecto invernadoiro debido ás súas elevadas emisións orixinarias de fontes fósiles.

O efecto de substitución refírese ao feito de que, cando se consome enerxía pro-



cedente da biomasa, se deixa de utilizar enerxía procedente doutras fontes non renovables. Desta forma, as emisións que se acadarían por unidade de enerxía consumida serían moi similares ás que se producirían con fontes de enerxía fósiles, mais o balance neto de carbono no caso da biomasa sería neutro. Este efecto substitutivo pode referirse tamén a outros produtos de consumo procedentes dos procesos de transformación da madeira, cuxo uso supoña a substitución doutro procedente de fontes non renovables e acadar deste xeito dous beneficios: deixar de emitir o CO₂ que sería necesario para a fabricación do produto substituído e almacenar carbono no propio produto de orixe renovable. O tempo de permanencia do carbono nestes produtos pode ser moi prolongado até o punto de os bens de consumo se poderen considerar como un compartimento máis dentro dos que axudan a mitigar o efecto invernadoiro (Karjalainen et al., 1994). Neste sentido, hai que considerar que de non aproveitar a biomasa enerxeticamente, esta sería en parte devolta de novo á atmosfera, e en parte incorporada ao solo en compostos relativamente estables, polo que calquera estudo de optimización do efecto de mitigación dos sistemas forestais debe ter en conta esta situación como referencia.

O efecto de substitución pódese estimar mediante a transformación da enerxía (producida por fontes que non consuman combustibles fósiles) a termos das toneladas equivalentes de petróleo que serían necesarias para xerar esa mesma cantidade de enerxía, e a cantidade de CO₂ liberado no proceso. Aceptado isto, a biomasa é unha das fontes de enerxía que máis emisións de CO₂ evita ao acadar valores próximos aos esperados para o ano 2010 para a enerxía eólica (PER, 2005), tal e como se amosa na figura 1.

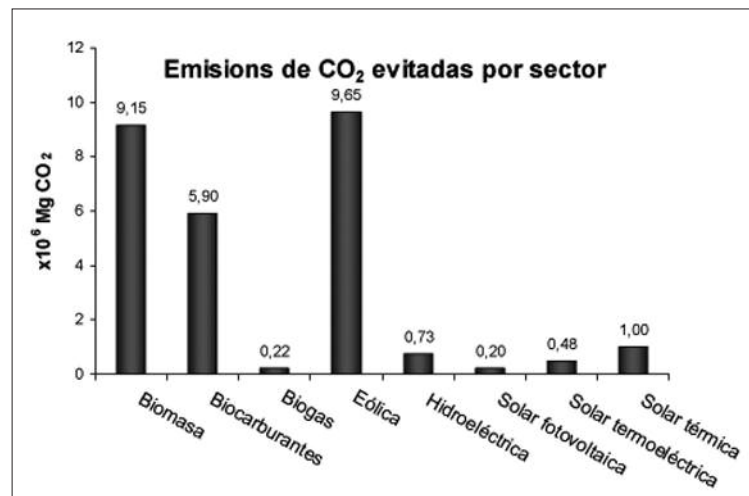


Figura 1. Emisións evitadas no ano 2010 segundo sector enerxético en España. Fonte: PER (2005).

O incremento do uso da biomasa como fonte de enerxía irremediavelmente vai derivar nun incremento da demanda do recurso debido á súa valorización, o que pode supoñer o establecemento dun límite inferior para o prezo da biomasa leñosa. Un posible efecto negativo deste fenómeno sería o feito de que, ao incrementarse o prezo da biomasa leñosa, se produza un efecto substitutivo de produtos derivados desta (os cales tamén poderían ver incrementado o seu prezo), respecto a produtos de orixe non renovable. É así que cabe destacar que este efecto non ten por que producirse, posto que naquelas rexións onde o uso enerxético da biomasa está máis desenvolvido, como por exemplo nos países nórdicos, o ritmo de consumo de produtos procedentes da biomasa leñosa segue a ser elevado.

Desta forma, o efecto de mitigación dunha determinada alternativa silvícola calcúlase como a combinación dos dous efectos: o efecto de substitución xunto coa acumulación de carbono na propia composición da materia. Chegados a este punto debe-

se ter en conta que unha correcta xestión debe maximizar o efecto de mitigación dos sistemas forestais por calquera das vías explicadas anteriormente. Cabe destacar a este respecto que, para o caso dos restos de corta, é posible que un certo aproveitamento teña un elevado beneficio desde o punto de vista do efecto substitutivo e mesmo pode ser maior que o que se acadaría polo efecto de acumulación no caso de se abandonaren no monte, debido ás perdas por respiración e descomposición.

2.4 EFECTO DA XESTIÓN SOBRE A MATERIA ORGÁNICA DO SOLO

Dado que o motor que move todo este sistema é a cantidade de biomasa morta que se atopa sobre o solo en cada intre, a continuación tratarase a posibilidade de xestión dos restos de corta sobre o solo. Como xa se comentou anteriormente, a xestión da plantación debe asegurar o mantemento ou mellora do contido de materia orgánica do solo e, por tanto, de carbono. É esta materia orgánica a que, alén de garantir a fertilidade a longo prazo do solo, axuda a capturar carbono en formas moi estables. Son varias as formas nas que a xestión dos sistemas forestais pode afectar á cantidade de materia orgánica do solo, mais todas elas ocorren en dous momentos ben diferenciados: a instalación e o crecemento da plantación.

No momento da instalación da plantación prodúcese en todos os casos unha alteración do solo, que no caso das plantacións enerxéticas acostuma ser máis intensa que a habitual nas plantacións forestais a baixa densidade. Esta maior remoción do solo no momento da instalación é similar aos labores de preparación do terreo para a instalación dun cultivo agrícola e persegue varios obxectivos: facilitar o desenvolvemento das raíces, reducir a competencia coa vexetación preexistente e favorecer os labores de plantación, os cales adoitan estar mecanizados. Estas actuacións aceleran a taxa de descomposición da materia orgánica do solo, até provocar unha perda desta en favor do aumento da dispoñibilidade de nutrientes para a planta por efecto da mineralización. A evolución da materia orgánica do solo neste momento está moi condicionada polo tratamento dos restos de corta ou vexetación preexistente (Ouro et al., 2001), de forma que é desexable o abandono de parte da biomasa fresca no solo tras o aproveitamento ou tras a conversión dun uso anterior a cultivo enerxético, provocando deste xeito unha mellora no contido de carbono no solo (Olsson et al., 1996, Bengtsson & Wikström, 1993), que doutra forma non se produciría (Knoepf & Swank, 1997). Tamén é sabido que o posterior tratamento dos restos despois da corta afecta á dinámica posterior do carbono, sendo especialmente favorable para o incremento do carbono edáfico e a incorporación ao solo (Hendrickson et al., 1985, Pérez-Batallón et al., 2001).

No momento da corta e preparación do terreo tamén se produce un incremento da temperatura do solo debido a una maior insolación deste, o que pode supoñer un aumento da perda de materia orgánica (Bengtsson & Wikström, 1993), polo que os restos de corta axudan a amortecer este efecto térmico. Canto aos efectos sobre a respiración do solo tras a corta, hai opinións enfrontadas. Mentres algúns autores observaron incrementos neste parámetro tras a desaparición da cuberta arbórea (Lytle & Cronan, 1998, Startsev et al., 1998, Londo, 1999), o que podería ser debido ao aumento de achegas de materia orgánica fresca polo aporte dos restos de corta e á consecuente descomposición destes (Hendrickson et al., 1989; Olsson et al., 1996), outros autores observaron o efecto contrario, o que xustificaron pola perda de humidade edáfica (Hendrickson et al., 1989) e polo cesamento de respiración das raíces vivas (Brumme, 1995).

No caso concreto da rexión temperado-húmida considérase que as emisións de CO₂ poden aumentar de forma considerable tras a corta (Hendrickson et al., 1985)



ou os rareamentos (Brumme, 1995), mentres que nas zonas de clima máis mediterráneo tense observado o efecto contrario (Hendrickson et al., 1985). Esta diferenza está relacionada coa modificación das condicións ambientais do solo no momento do aproveitamento e máis no resto de actuacións que teñen lugar ao longo do ciclo de explotación, determinada polo diferente tratamento dos restos de corta (Pérez-Batallón et al., 2001). Na última parte deste traballo detállase unha serie de recomendacións para a xestión das plantacións enerxéticas.

2.5 EFECTO SOBRE A DEGRADACIÓN DO SOLO: A EROSIÓN E A PERDA DE FERTILIDADE

Aínda que unha das características limitantes para a instalación dos cultivos enerxéticos é a pendente, debido a que en todos os casos se proxecta un aproveitamento mecanizado que reduza os custos de explotación e que maximice o rendemento enerxético (unidades de enerxía producidas pola plantación por cada unidade investida para a súa produción), cómpre considerar a erosión do solo, posto que é un dos principais problemas que comprometen a longo prazo a súa produtividade. Xeralmente, acéptase a erosión do solo como un proceso máis dentro da edafoxénese, mais existen casos en que a actividade humana provoca un aceleramento do proceso de erosión que pode chegar a ser preocupante no caso de superar a velocidade de formación do solo (Vila et al., 2002). Existen moitos axentes causantes de erosión, mais todos eles se poden dividir entre aqueles que alteran as propiedades físicas e os que alteran as propiedades químicas do solo.

A compactación do solo é un fenómeno que está directamente relacionado co tránsito da maquinaria sobre o terreo. Desta forma, as características da plantación (especie, produto desexado, tipo de xestión a que se vai someter...) condiciona a frecuencia de tránsito da maquinaria sobre a parcela e, en última instancia, a intensidade da compactación. Así, os cultivos perennes con colleitas periódicas presentan un maior risco de compactación do solo. O deseño da plantación tamén afecta a este parámetro, de forma que un deseño con liñas de plantación longas que minimize as zonas de manobra da maquinaria de colleita nos seus extremos minimizará a compactación do solo.

Outro efecto sobre as propiedades físicas do solo é a alteración da estrutura debido á labra do solo. Este efecto prodúcese en todos os casos no momento da instalación da plantación e pode ocorrer tamén ao longo da fase de crecemento, como en actuacións de control do mato que supoñan a remoción do solo. Aínda que o réxime de alteracións da estrutura nas plantacións enerxéticas é máis frecuente que, por exemplo, nas plantacións forestais tradicionais, é moito menos frecuente que nos cultivos agrícolas, nos cales se poden producir varios labores no mesmo ano.

Outro tipo de degradación, neste caso química, que pode ocorrer nas plantacións enerxéticas é a perda de fertilidade do solo por causa da extracción de nutrientes. A extracción de nutrientes nun cultivo é directamente proporcional á produción deste, de forma que a maior produtividade, maior extracción de nutrientes. Son varios os estudos que observaron unha diminución na produción co transcurso de sucesivas rotacións, tanto en sistemas aproveitados mediante monte baixo (Strong, 1989; Mitchell et al., 1999), como naqueles reforestados tras a corta (Keeves, 1966). Esta menor produción nas plantacións aproveitadas en monte baixo ten que ver en parte coa perda da habilidade de rebrotar e coa mortalidade das cepas, mais tamén coa repetida extracción de nutrientes en sucesivas rotacións. Estes nutrientes atópanse sobre todo nas fraccións máis finas do arboredo, que, dito sexa de paso, son as que



menos interese teñen desde o punto de vista do aproveitamento enerxético. Xa que logo, aínda que se realicen fertilizacións ao longo do ciclo de crecemento, unha adecuada xestión das plantacións debe asegurar o abandono das fraccións máis finas no monte tras o aproveitamento para asegurar un mantemento do estado nutricional.

Hai outros casos en que as plantacións enerxéticas xogan un importante papel. Este é o caso da descontaminación de solos ou da reciclaxe de augas residuais. Este tipo de manexo foi amplamente estudado para a descontaminación de solos, o que neste caso se denomina dendrorremediación (Rockwood et al., 2004, 2006). Son varias as experiencias no emprego de plantacións enerxéticas en labores de dendrorremediación, en que as elevadas densidades de plantación, xunto cos curtos ciclos de colleita, derivan en elevadas extraccións de nutrientes, algo desexable nestes casos. Esta técnica adoita ser bastante recorrida tamén para a revexetación e a descontaminación de solos de entulleiras de minas, así como de filtro verde de augas residuais (en Galiza xa hai experiencias deste tipo).

Son múltiples os estudos en que se conclúe que os restos de corta achegan unha protección extra ao solo fronte á erosión, mentres evitan as perdas de nutrientes (Miller et al., 1988), o cal provoca un efecto semellante ao que ocorre coa terra vexetal na fase de crecemento da plantación. No caso concreto de masas forestais de eucalipto reforestadas tras un incendio, observouse que un 10% de cobertura do solo mediante restos de corta conseguía reducir un 50% das perdas de solo por erosión, de modo que esta se revelou como unha ferramenta moi eficaz para minimizar as perdas de solo (Lopes et al., 1987). As recomendacións para evitar perdas de solo por erosión van en contra do que sería aconsellable desde o punto de vista nutricional, posto que as elevadas densidades son máis efectivas para reter o solo, o cal evita desta forma perdas por escoamento. Polo tanto, a densidade de plantación óptima desde o punto de vista da conservación do solo debe gardar un equilibrio co axente máis limitante, segundo for este a erosión do solo ou o mantemento do estado nutricional.

Outra consecuencia do aproveitamento da biomasa é que diminúe as perdas de humidade por evaporación e intercepción, polo que o contido en humidade dos horizontes superficiais do solo se ve incrementado (Van Lear et al., 1985, Castillo et al., 1997) e pode chegar a ocasionar problemas de escoamento superficial e de erosión en solos pouco permeables (Terry & Shakesby, 1993, Shakesby et al., 2000).

2.6 EFECTO SOBRE A PAISAXE E A BIODIVERSIDADE

O impacto paisaxístico das plantacións enerxéticas depende de varios factores, pero principalmente da paisaxe característica da zona en cuestión e dos usos que se nela se deren, alén do tamaño e da intensidade da xestión que nela se levar a cabo. Con todo,, hai unha serie de recomendacións sobre o deseño das plantacións que pode axudar a diminuír o impacto paisaxístico dos cultivos enerxéticos, como, por exemplo, respectar as zonas de bordo e seguir o contorno dos usos lindeiros, evitar liñas demasiado rectas e continuas tanto de plantación como no bordo, usar, sempre que for posible, especies distintas para evitar a continuidade do cultivo ou usar especies e réximes selváticos tales que o tamaño e a disposición das plantas non se diferencien demasiado da vexetación e dos usos dos terreos estremeiros ou próximos.

Verbo do hábitat da fauna salvaxe, existen estudos que evidenciaron un aumento da biodiversidade nos cultivos enerxéticos con respecto a zonas continuas de ter-



reos agrícolas (Sage et al., 1994), fundamentalmente en aves. Un dos aspectos a que hai que lle prestar especial atención ten que ver con evitar cubertas continuas de plantacións coa mesma clase de idade, especie ou clon, para proporcionar unha continua variación do hábitat e, por tanto, unha maximización do efecto bordo.

2.7 RECOMENDACIÓNS PARA O APROVEITAMENTO DE BIOMASA

A modo de resumo, a continuación amósanse unha serie de recomendacións de xestión de plantacións co obxectivo de maximizar o efecto de mitigación do efecto invernadoiro e evitar a erosión do solo.

- Centrar o aproveitamento dos restos de corta nos terreos máis produtivos, mecanizables e con menor risco de erosión, para así o aproveitamento da biomasa residual en pendentes superiores ao 45%, e en zonas con solos especialmente sensibles pola súa escasa profundidade ou con baixas reservas nutricionais.
- Na medida do posible fomentarse a aplicación de esquemas silvícolas que favorezan a reincorporación de nutrientes ao solo, nomeadamente os que fan referencia a densidades máis baixas e rotacións máis longas.
- Garantir a permanencia sobre o terreo de, cando menos, un 30% dos restos forestais, especialmente de se trataren das fraccións máis finas.
- Empregar tecnoloxías e maquinaria de aproveitamento da biomasa residual que non comprometan a estabilidade dos horizontes orgánicos do solo e aproveitar, dese xeito, unicamente as fraccións máis grosas dos restos de corta.
- Evitar o emprego de maquinaria pesada en lugares onde existiren problemas de compactación do terreo e deseñar as plantacións con aliñamentos o máis longos posibles; minimizando desta forma a zona de manobra da maquinaria de colleita e plantación.
- Programar as actuacións en monte no momento en que o impacto ao solo sexa mínimo. No caso das especies de folla caduca, os labores de colleita deben coincidir co momento en que as árbores estiveren sen folla.
- Planificar a localización da central de biomasa para reducir os desprazamentos de biomasa forestal primaria desde o monte até a instalación consumidora.
- Minimizar os impactos negativos producidos polos cargadeiros e polos parques de almacenamento intermedios de biomasa, na procura da súa integración na paisaxe, da minimización dos problemas de compactación do terreo ou da presenza de lixiviados nas augas de escoamento e, todo isto, co fin de garantir o cumprimento da lexislación en materia de seguranza ante o risco de incendios.
- Aconséllase a reincorporación de nutrientes contidos nas cinzas xeradas nas caldeiras de biomasa ao monte, mediante a aplicación destas nas masas forestais. Nas doses que se aplicaren teranse en conta as concentracións de nutrientes e doutros elementos nas cinzas, posto que estes dependen da biomasa empregada e do seu procesamento.

REFERENCIAS

- Beasley, R.S.; Granillo, A.B. (1988). Sediment and water yields from managed forests on flat coastal plain sites. *Journal of the American Water Resources Association*. 2,361-366.
- Bengtsson, J.; Wikström, F. (1993). Effects of whole-tree harvesting on the amount of soil carbon: model results. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 380-389.



- Brumme, R. (1995). Mechanisms of carbon and nutrient release and retention in beech forest gaps. *Plant and Soil* 1,593-600.
- Bullard, M.J.; Mustill, S.J.; Carver, P.; Nixon, P.M.I. (2002). Yield improvements through modification of planting density and harvest frequency in short rotation coppice *Salix* spp.-2. Resource capture and use in two morphologically diverse varieties. *Biomass & Bioenergy* 22, 27-39.
- Castillo, V.M.; Martínez-Mena, M.; Albaladejo, J. (1997). Runoff and Soil Loss Response to Vegetation Removal in a Semiarid Environment. *Soil Science Society of America Journal* 4,1116-1121.
- Hendrickson, O.Q.; Chatarpaul, L.; Robinson, J.B. (1985). Effects of Two Methods of Timber Harvesting on Microbial Processes in Forest Soil. *Soil Science Society of America Journal*. 3,739-746.
- Hendrickson, O.Q.; Chatarpaul, L.; Burgess, D. (1989). Nutrient cycling following whole-tree and conventional harvest in northern mixed forest. *Canadian Journal of Forest Research*. 6,725-735.
- Karjalainen, T.; Kellomäki, S.; Pussinen, A. (1994). Role of wood-based products in absorbing atmospheric carbon. *Silva Fennica* 28 (2): 67-80.
- Keeves, A. (1966). Some evidence of loss of productivity with successive rotations of *Pinus radiata* in the south-east of South Australia. *Aust. For*30, 51-63.
- Knoepp, J.D.; Swank, W.T. (1997). Forest Management Effects on Surface Soil Carbon and Nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*. 928-935.
- Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Sievänen, R. 2005. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modeling*. 189, 168-182.
- Londo, A.J. (1999). Forest harvesting effects on soil temperature, moisture, and respiration in a bottomland hardwood forest. *Soil Science Society of America Journal* 3,637-644.
- Lopes, P.R.C.; Cogo, N.P.; Levien, R. (1987). Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. *Brasileira de Ciência do Solo*, 71-75.
- Lytle, D.E.; Cronan, C.S. (1998). Comparative soil CO₂ evolution, litter decay, and root dynamics in clearcut and uncut spruce-fir forest. *Forest Ecology and Management*, 2-3,121-128.
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83, 37-46.
- Mitchell, C.P.; Stevens, E.A.; Watters, M.P. (1999). Short-rotation forestry- operations, productivity and costs based on experience gained in the UK. *For. Ecol. Manage.*121, 123-136.
- Olsson, B.A.; Staaf, H.; Lundkvist, H.; Bengtsson, J.; Kaj, R. (1996). Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *Forest Ecology and Management*. 1-3,19-32.
- Ouro, G.; Pérez-Batallón, P.; Merino, A. (2001). Effects of silvicultural practices on nutrient status in a *Pinus radiata* plantation: Nutrient export by tree removal and nutrient dynamics in decomposing logging residues. *Annals of Forest Science*. 411-422.
- PER (2005). Plan de Energías Renovables de España (PER) 2005-2010. Ministerio de Indústria, Turismo y Comercio. Madrid
- Pérez-Batallón, P.; Ouro, G.; Macías, F.; Merino, A. (2001). Initial mineralization of organic matter in a forest plantation soil following different logging residue management techniques. *Annals of Forest Science*. 807-818.
- Rockwood, D.L.; Naidu, C.V.; Carter, D.R.; Rahmani, M.; Spriggs, T.A.; Lin, C.; Alker, G.R.; Isebrands, J.G.; Segrest, S.A. (2004). Short-rotation woody crops and phytoremediation: Opportunities for agroforestry? *Agroforestry Systems*. 61, 51-63.
- Rockwood, D.L.; Carter, D.R.; Langholtz, M.H.; Stricker, J.A. (2006). Eucalyptus and *Populus* short rotation woody crops for phosphate mined lands in Florida USA. *Biomass & Bioenergy*. 30, 728-734.
- Romanyá, J.; Cortina, J.; Falloon, P.; Coleman K.; Smith, P. (2000). Modelling changes in soil organic matter after planting fast-growing *Pinus radiata* L. on Mediterranean agricultural soils. *European Journal of Soil Science*. 51, 627-641.
- Sage, R.B.; Robertson, P.A.; Poulson, J.G. (1994). Enhancing the conservation value of short rotation biomass coppice, phase 1: The identification of wildlife conservation potential. ETSU contractors report, The Game Conservancy Trust, ETSU/BW5/ 00277/REP.
- Shakesby, R.A.; Doerr, S.H.; Walsh, R.P.D. (2000). The erosional impact of soil hydrophobicity: current problems and future research directions. *Journal of Hydrology*178-191.



- Startsev, N.A.; McNabb, D.H.; Startsev, A.D. (1998). Soil biological activity in recent clearcuts in west-central Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 1,69-76.
- Strong, T. (1989). Rotation Length and Repeated Harvesting Influence Populus Coppice Production. United States Department of Agriculture, .
- Terry, J.P.; Shakesby, R.A. (1993). Soil hydrophobicity effects on rainsplash: Simulated rainfall and photographic evidence. *Earth Surface Processes and Landforms* 6,519-525.
- Van Lear, D.H.; Douglass, J.E.; Cox, S.K.; Augspurger, M.K. (1985). Sediment and Nutrient Export in Runoff from Burned and Harvested Pine Watersheds in the South Carolina Piedmont. *Journal of environmental quality* 2,169.
- Vila, R.; Rodríguez, R.; Puga, J. (2002). Las pérdidas de suelo producidas por erosión hídrica: la evaluación del “factor de tolerancia” y la cuantificación de su grado de erosión en relación con la pendiente máxima admisible para el cultivo. Una aproximación al conocimiento de su incidencia en Galicia (España). *Universitas. Homenaje a Antonio Eiras Roel. Universidad de Santiago de Compostela*, p. 291-305.

3. A CODIXESTIÓN ANAEROBIA COMO SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ENERXÍA A PARTIR DE RESIDUOS

Juan A. Álvarez e María Dolores Garabatos Pardo

3.1 INTRODUCCIÓN

A dixestión anaerobia é un proceso biolóxico en que a materia orgánica, en ausencia de osíxeno e pola acción dun grupo específico de bacterias, se transforma en produtos gasosos ou “biogás” (CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , etc.) e nun “dixestato”, que é unha mestura de sales minerais (con N, P, K, Ca etc.) e materia orgánica de difícil degradación.

O biogás contén unha elevada porcentaxe de metano, CH_4 , (50-70%) e é susceptible dun aproveitamento enerxético mediante combustión en motores, turbinas ou caldeiras, quer illadamente, quer mesturado con outros combustibles. O proceso controlado da dixestión anaerobia é un dos máis adecuados para reducir as emisións de gases de efecto invernadoiro, para a produción de enerxía a partir de residuos orgánicos e mais para o mantemento e posta en valor do valor fertilizante dos produtos procesados.

A dixestión anaerobia pode aplicarse, entre outros, a residuos agrícolas e gandeiros, residuos urbanos (fracción orgánica de residuos urbanos, lodos de depuradoras municipais...) e os residuos procedentes da pesca e da industria (fundamentalmente agroalimentarios). Estes residuos poden ser tratados por separado ou en conxunto, o que se coñece como codixestión. O proceso de dixestión anaerobia é tamén axeitado para o tratamento de augas residuais de elevada carga orgánica, caso das producidas en industrias de alimentos diversos.

Os beneficios asociados coa dixestión anaerobia son:

- Significativa redución do olor
- Mineralización de material orgánica
- Produción de enerxía renovable (se a enerxía do gas é utilizado e substitúe un combustible fósil)
- Redución de emisións de gases de efecto invernadoiro resultantes da redución



das emisións descontroladas de CH₄ (que produce un efecto invernadoiro 20 veces maior que o CO₂), e redución de CO₂ pola substitución da enerxía fósil.

A promoción e a implantación de sistemas de produción de biogás colectivos (codixestión para o tratamento combinado de residuos orgánicos procedentes de distintas fontes nunha área xeográfica, xeralmente agrícolas e industriais) tamén permite a aplicación de sistemas de xestión integral de residuos orgánicos por áreas xeográficas, con beneficios sociais, económicos e ambientais.

3.1.1 Características e uso do biogás

O biogás é o produto gasoso da dixestión anaerobia de compostos orgánicos. A súa composición depende do substrato dixerido, do tipo de tecnoloxía utilizada e mais das condicións de operación. Unha composición típica pode ter os seguintes valores:

- 50-70% de metano (CH₄)
- 30-40% de dióxido de carbono (CO₂)
- ≤ 5% de hidróxeno (H₂), sulfuro de hidróxeno (H₂S) e outros gases

O biogás cun contido do 60% de metano ten un poder calorífico de preto de 5 500 kcal/Nm³ (6,4 kW·h/Nm³). É dicir, excepto polo seu contido en H₂S, é un combustible ideal, coas equivalencias enerxéticas que se amosan na figura 1.

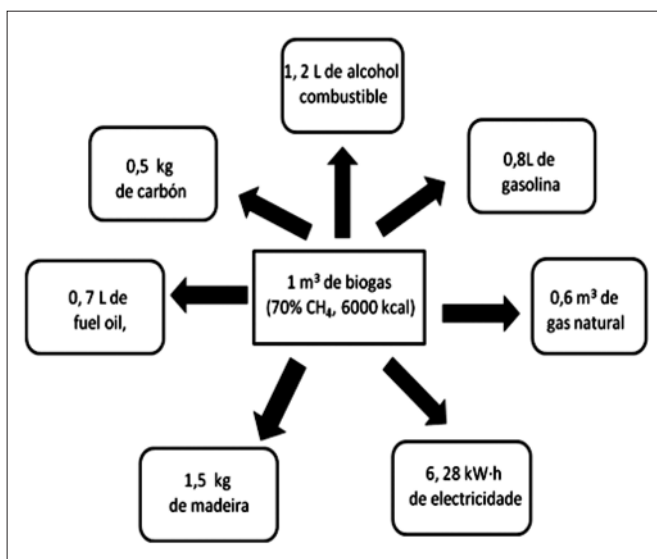


Figura 1. Equivalencia do biogás con outras fontes enerxéticas.

Uso do biogás

O biogás producido no proceso de dixestión anaerobia pode ter diferentes usos:

- Nunha caldeira para xerar calor ou electricidade
- Nos motores ou turbinas para xerar electricidade
- Nas células de combustible, tras a limpeza de H₂S e outros contaminantes das membranas
- Ser incorporado a unha rede de transporte de gas natural

- Materia prima para a síntese de produtos como o metanol
- Combustible para a automoción

O biogás, ademais de metano, contén outros compostos tales como o nitróxeno, o vapor de auga, o sulfuro de hidróxeno, o monóxido de carbono e compostos orgánicos volátiles, caso dos hidrocarburos haloxenados, siloxanos etc. Así pois, dependendo do uso final, pode ser necesario proceder á súa limpeza.

Unha aplicación-tipo da dixestión anaerobia dáse nas granxas de gando bovino e porcino ou como planta comarcal de xestión de residuos en zonas de alta concentración de gando en confinamento, por mor do problema que xera o esterco producido. Neste caso, pode propoñerse unha planta de dixestión anaerobia para a produción de biogás como fonte de enerxía de autoabastecemento. Unha situación ideal pasaría por implementar un sistema de coxeración de pequeno porte que permitiría aforrar auga quente e electricidade no tempo frío, e a conexión á rede de electricidade para a venda de electricidade en períodos máis cálidos.

Xeralmente, os custos relacionados con instalacións de tratamento de esterco mediante dixestión anaerobia son altos en relación coa produtividade e en termos da enerxía contida no biogás, mais o proceso de codixestión (mestura de diferentes substratos) pode incrementar o potencial de metano dos residuos do gando entre un 50% e un 200% (Callaghan et al., 1999; Murto et al., 2004, Amon et al. 2006, Ferreira et al., 2007; Soldano et al., 2007, Álvarez et al., 2010).

3.2 O PROCESO DE DIXESTIÓN ANAEROBIA

A bioquímica e a microbioloxía dos procesos anaerobios son máis complicadas que nos procesos aerobios, debido ao gran número de rutas que poden ser usadas por unha comunidade anaerobia para unha biodegradación de substancias orgánicas.

3.2.1 Fases da dixestión anaerobia

A dixestión anaerobia caracterízase pola existencia de varias fases consecutivas do proceso de degradación do substrato, e nela interveñen cinco grandes poboacións de microorganismos (figura 2).

Estas poboacións caracterízanse por estaren compostas de microorganismos con diferentes taxas de crecemento e sensibilidade diferente para cada intermediario que pode actuar como inhibidor (por exemplo, o ácido acético, o H₂ ou o amoníaco producido pola hidrólise dos aminoácidos). Isto implica que cada fase presentará taxas de reacción diferentes dependendo da composición do substrato e que un desenvolvemento estable do proceso global requirirá un equilibrio para evitar a acumulación de intermediarios inhibidores ou acumulación de ácidos graxos volátiles (AGV), o que podería producir unha diminución do pH. Para a estabilidade do pH o equilibrio CO₂-bicarbonato é importante.

En xeral, a velocidade do proceso está limitada pola velocidade da etapa máis lenta, que depende da composición de cada residuo. Para substratos solubles, a etapa controlante é xeralmente a metanoxénese, mentres que para acelerar o proceso a estratexia pasa por adoptar modelos que permitan unha alta concentración de microorganismos acetoxénicos e metanoxénicos no reactor. Con iso, poden obterse sistemas nun tempo de procesamento duns días. Para os residuos en que a materia



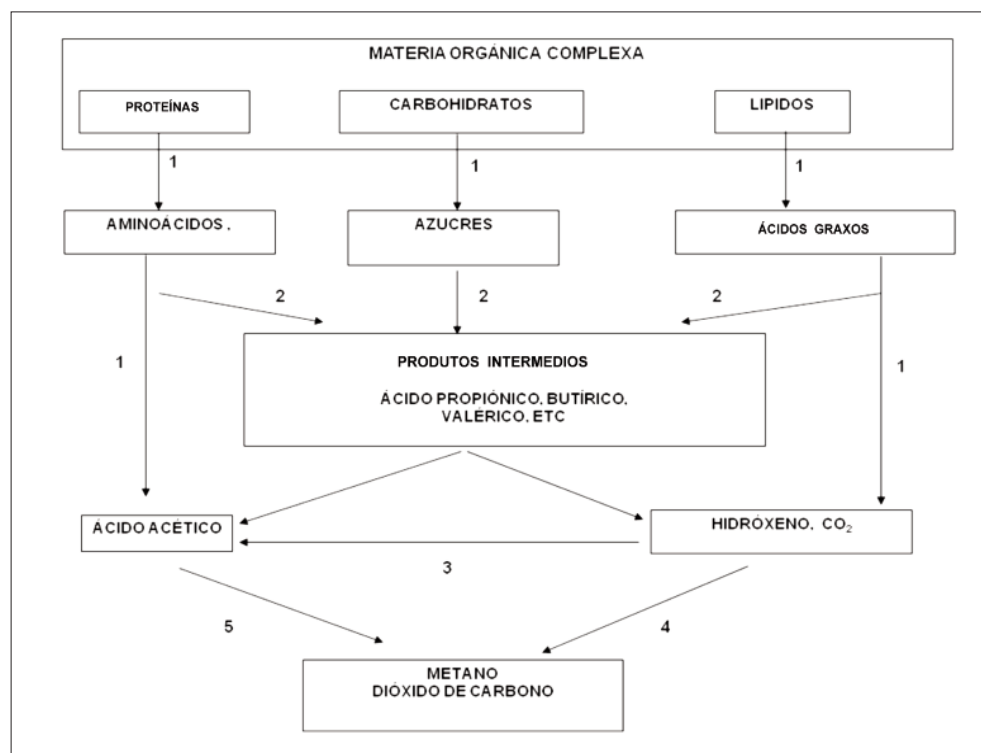


Figura 2. Etapas de dixestión anaerobia de materiais poliméricos. Os números indican a poboación de bacterias responsables do proceso: 1- bacterias fermentativas, 2- bacterias acetoxénicas, 3- bacterias homoacetoxénicas, 4- bacterias metanoxénicas hidroxenotróficas, 5- bacterias metanoxénicas acetoclásticas (Lema et al., 1992).

orgánica estea na forma de partículas sólidas, o paso limitante é habitualmente a hidrólise, proceso encimático cuxa velocidade depende da superficie da partícula. Adoito, esta limitación fai que os tempos de procesamento sexan por volta dunhas semanas (de dúas a catro). Para aumentar a velocidade, unha estratexia axeitada é realizar un pretratamento co fin de reducir o tamaño das partículas ou axudar á solubilización mediante diversos procesos (maceración, ultrasóns, tratamento térmico, presión alta ou unha combinación de altas presións e temperaturas).

3.2.2 Produción de metano

Para un sistema anaerobio, a DQO (demanda química de osíxeno) pode ser considerada un parámetro conservado, é dicir, a suma da entrada de DQO debe ser igual á suma das DQO de saída:

$$DQO_{\text{influyente}} = DQO_{\text{efluente}} + DQO_{\text{lodo purgado}} + DQO_{\text{biogás}} + DQO_{\text{acumulada}}$$

De se considerar un biogás composto exclusivamente de CH_4 e CO_2 , e tendo en conta que a DQO do CO_2 é nula, a DQO eliminada no residuo obtido correspondería á DQO obtida como metano, o que significa 2,86 kg DQO/ m^3 CH_4 ou 0,35 m^3 de CH_4 / kg de DQO eliminada (a $P = 1$ atm e $T = 0^\circ \text{C}$), ou 0,38 m^3 de CH_4 ($P = 1$ atm e 25°C). Así mesmo, tendo en conta a potencia calorífica do metano, estes valores corresponden aproximadamente a 3,5 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{kg}$ DQO eliminada, en unidades de enerxía primaria. Estes datos confiren lles aos sistemas anaerobios unha clara vantaxe sobre os sistemas anaerobios para o tratamento de residuos orgánicos e augas residuais, pois neles a enerxía necesaria para a transferencia de osíxeno é de preto de 1 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{kg}$ O_2 consumido.

3.3 CHAVES DA DIXESTIÓN ANAEROBIA: CODIXESTIÓN ANAEROBIA

3.3.1 Parámetros ambientais e operacionais

Os parámetros ambientais dos que se leva control refírense ás condicións que deben manterse para o correcto desenvolvemento do proceso. Estes son (Lema et al., 1992) os seguintes:

- O pH, que debe manterse preto de 7.
- A alcalinidade, para garantir a capacidade de tamponamento e evitar a acidificación. Recoméndase unha alcalinidade superior a 1,5 g/L de CaCO_3 .
- O potencial redox, con valores recomendados menores de -350 mV.
- Os nutrientes, con valores que garantan o crecemento dos microorganismos. A relación aceptable de DQO/N/ P é 600/7/1.
- Os tóxicos e inhibidores, cuxa concentración ten que ser a mínima posible.

Os parámetros operativos refírense ás condicións de traballo dos reactores (Soto et al., 1993):

- A temperatura. Pode ser operado na franxa psicrófila (temperatura ambiente), mesófila (temperaturas ao redor dos 35°C) ou termófila (temperaturas ao redor dos 55°C). As taxas de crecemento e de reacción aumentan coa temperatura, mais tamén a sensibilidade cara a algúns inhibidores, como o amoníaco. Así, na franxa termófila asegúranse maiores taxas de destrución de patóxenos, aínda que os organismos metanoxénicos son máis sensibles á acumulación de produtos intermedios como o AGV e o NH_4^+ .
- A axitación. Dependendo do tipo de reactor, debe transferirse ao sistema o nivel de enerxía necesario para favorecer a transferencia de substrato para cada poboación ou agregado bacteriano, así como homoxeneizar para manter baixas as concentracións medias de inhibidores.
- O tempo de retención hidráulica (TRH). É a relación entre o volume do dixestor e o caudal tratado, é dicir, correspóndese co tempo medio de permanencia de residuos no interior do reactor, baixo a acción de microorganismos. A figura 3 amosa a tendencia xeral da porcentaxe de eliminación de materia orgánica (expresada como sólidos volátiles, SV) e a produción específica de gas por unidade de volume do reactor, dependendo do HRT. Cómpre salientar que hai un mínimo por debaixo do cal o reactor perde a súa actividade (lavado), que a eliminación de materia orgánica segue unha tendencia asintótica cunha eliminación completa a tempo infinito, e que a velocidade de produción de gas por unidade de volume do reactor presenta un máximo para un tempo de retención correspondente a unha eliminación do substrato entre un 40 e un 60%.
- A velocidade de carga orgánica (VCO). É unha boa medida da cantidade de materia orgánica introducida no dixestor por unidade de volume e tempo. Os valores menores implican unha baixa concentración do influente e/ou un alto tempo de retención hidráulico. O aumento da VCO por riba dun valor dado implica unha redución na produción de gas por unidade de materia orgánica introducida (figura 4). O valor da VCO para aplicar terá un valor óptimo técnico/económico para cada unidade e residuo que vai ser tratado. Na figura 4 vese como a baixas concentracións de substrato, pequenas variacións na carga poden producir elevadas variacións na produción de biogás (dixestión húmida). Porén, para altas concentracións (dixestión seca, concentración de sólidos por riba do 20%), o sistema é máis estable.



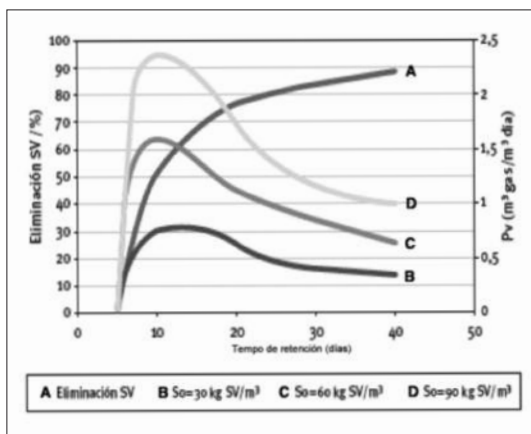


Figura 3. Eliminación de sólidos volátiles, SV (%) e producción volumétrica de gas, Pv (m^3 biogás/ m^3 dixestor · día) para un reactor anaerobio continuo de mestura completa, en función do tempo de detención hidráulica (Flotats e Palatsi, 2003).

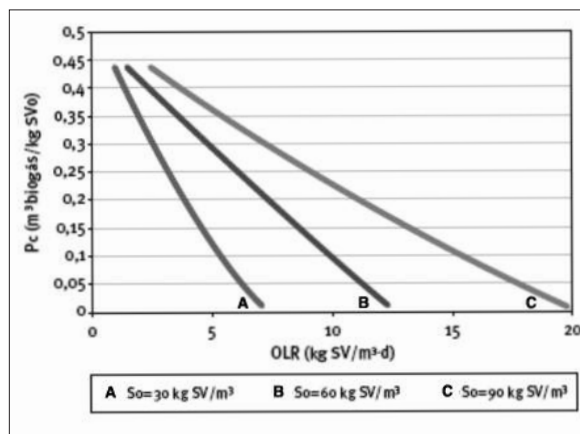


Figura 4. A produción de gas por unidade de carga en función da velocidade de carga orgánica (Flotats e Palatsi, 2003).

3.3.2 Potenciais e rendementos

A produción de metano ou biogás a partir dun residuo determinado dependerá do seu potencial (produción máxima posible), do tempo de retención, da velocidade de carga orgánica, da temperatura de funcionamento e da presenza de inhibidores (a táboa 1 mostra valores de referencia para dexeccións animais). Por outra banda, tempos de almacenamento superiores a tres meses poden reducir a súa capacidade de produción en máis dun 70% (Angelidaki e Ellegaard, 2003), xa que ten lugar un proceso de fermentación descontrolado, con emisión de gas metano á atmosfera.

En xeral, as dexeccións de bovino e porcino teñen un baixo rendemento por mor do seu alto contido de auga, aínda que este se incrementa notablemente coa presenza de material sólido biodegradable. Por exemplo, pódese atinxir $0,36 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg}$ de SV se houber un 5% de sólidos totais cun 70% de compostos volátiles.

A produción de biogás a partir da fracción orgánica dos residuos municipais (FORM) depende da orixe e do pretratamento. Así, a recollida en bruto de residuos urbanos e a separación mecánica da fracción orgánica tradúcese en perda de materia orgánica biodegradable, o cal reduce o potencial de produción de metano. O potencial metanoxénico específico de FORM oscila entre 0,2 e $0,5 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgSV}$ (Hartmann et al., 2003).

Os residuos orgánicos da industria alimentaria teñen potenciais de produción variables, aínda que son xeralmente elevados cando conteñen un alto contido lipídico. A táboa 2 amosa a produción do biogás por diversos tipos de residuos e nela pódese observar unha elevada produción para óleos vexetais.

O lodos de depuradoras presentan valores variables de produción de metano de acordo coa súa orixe. Así, os lodos de matadoiro presentan producións de metano máximas de $0,45 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgSV}$, mentres que se están concentrados por centrifugación, coa utilización de floculantes, se reduce o seu potencial a $0,34 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgSV}$ (Angelidaki e Ellegaard, 2003). Pola súa banda, os lodos procedentes de plantas de tratamento biolóxico de augas residuais presentan valores máis baixos por volta de 0,33 en $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{kg SV}$ na franxa mesófila e de 0,36 en réxime termófilo (Flotats, 1999), e presentan variacións segundo cal sexa a idade do lodo e o seu contido en lodos primarios ou secundarios.

Táboa 1.- Producción de metano de residuos gandeiros en función da temperatura (T), da velocidade de carga orgánica (VCO), do tempo de retención hidráulico (TRH) e do nitróxeno amoniacal.

Referencia	Substrato	T(°C)	VCO(kg DQO/m ³ · d)	TRH (d)	Potencial metanoxénico (m ³ /kg SV)
Angelidaki e Ahring (1993)	Esterco de bovino	55	3	15	0,05-0,150
Robbins et al. (1989)	Esterco de bovino	37	2,6	16	0,08-0,20
Hashimoto (1986)	Esterco de bovino	35	4,4	9	0,09-0,51
		55	7,8	9	0,29-0,30
Hansen et al. 1998	Esterco de porco	35-60	15	6	0,07 – 0,19
Hills et al. 1987	Esterco de porco	35	3,6 – 8,0	10	0,26-0,30
Van Velsen (1979)	Esterco de porco	30	2,7-4,0	15	0,32-0,33

Táboa 2. Potenciais de produción de biogás dalgúns residuos orgánicos da industria alimentaria (Angelidaki e Ellegaard, 2003).

Tipo	Contido orgánico	SV (%)	Biogás (m ³ CH ₄ /tonelada)
Intestinos + varios	Hidratos de carbono, proteínas e lípidos	15-20	50-70
Lodos de flotación	65-70% proteínas, 30-35% lípidos	13-18	90-130
BBO (terras filtrantes de óleos con bentonita)	80% lípidos, 20% outros orgánicos	40-45	350-450
Óleos de peixe	30-50% lípidos	80-85	350-600
Soro de queixo	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	7-10	40-55
Soro de queixo concentrado	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	18-22	100-130
Hidrolizados de carne e ósos	70% proteínas, 30% lípidos	10-15	70-100
Marmeladas	90% azucres, ácidos orgánicos	50	300
Aceite de soia (margarinas)	90% aceites vexetais	90	800-1000
Bebidas alcohólicas	40% alcohol	40	240
Lodos residuais	Hidratos de carbono, lípidos e proteínas	3-4	17-22
Lodos residuais concentrados	Hidratos de carbono, lípidos e proteínas	15-20	85-110



3.3.3 Codigestión anaerobia

O termo codigestión é usado para expresar a dixestión anaerobia combinada de dous ou máis substratos de residuos orgánicos de diferentes fontes. A principal vantaxe reside no aproveitamento das sinerxías da mestura, para compensar as deficiencias de cada un dos substratos distintos. A codigestión pode promoverse para obter unha serie de vantaxes:

- Aproveitar a natureza complementaria das composicións para permitir perfís de proceso máis eficientes.
- Compartir instalacións para o tratamento.
- Unificar metodoloxías de xestión.
- Equilibrar variacións temporais na composición e produción de cada residuo por separado.
- Reducir os custos de capital e operativos.

A codigestión de residuos orgánicos resultou ser unha metodoloxía de éxito tanto en operación termófila como mesófila (Hartmann et al., 2003). Obtivéronse bos resultados para mesturas de residuos gandeiros con varios tipos de residuos procedentes da industria de carne e matadoiros por seren ricos en graxa. Máis concretamente obtívose un rendemento elevado de metano que roldou os 47 m³ por tonelada de residuo introducido. Tamén se obtiveron bos resultados coa codigestión de lodos de depuradoras e a fracción orgánica dos residuos sólidos urbanos, a mestura destes con augas residuais urbanas (Angelidaki e Ahring, 1997), e a codigestión de lodos de depuradoras con residuos de froitas e vexetais (Dinsdale et al., 2000).

Os residuos urbanos e industriais poden conter altas concentracións de materia orgánica biodegradable e, polo tanto, ter un maior potencial de biogás que os residuos gandeiros. Con todo, estes residuos poden presentar problemas de dixestión por mor da deficiencia en nutrientes necesarios para o desenvolvemento de microorganismos anaerobios, da baixa alcalinidade ou do excesivo contido en sólidos que pode causar problemas mecánicos. Porén, os residuos gandeiros si poden ser unha boa base para a codigestión porque normalmente teñen un alto contido en auga,

	Residuos gandeiros	Lamas de depuración	FORM	Residuos industria alimentaria
Micro e macro nutrientes	↑	↑	↓	↓
Relación C/N	↓	↑ ↓	↑	↑
Capacidade tampón (alcalinidade)	↑		↓	↓
Materia orgánica biodegradable	↓	↑ ↓	↑	↑

Figura 5. Caracterización relativa á codigestión de diferentes residuos orgánicos (Flotats, 1999). FORM: Fracción orgánica dos residuos municipais.

unha elevada capacidade para a regulación do pH, e fornecen unha gran variedade de nutrientes necesarios para o crecemento de microorganismos anaerobios.

Na figura 5 amósanse as características relativas á codigestión. Dentro de cada nivel ou parámetro de caracterización, as frechas que conectan dous ou máis residuos indican un posible interese da mestura, de potencial valor para compensar entre eles as carencias que puideren ter por separado. A alcalinidade de lodos da EDAR presenta moita variabilidade é resulta difícil a súa caracterización relativa.

A codigestión non debe agochar prácticas de dilución de contaminantes, caso dos metais pesados, de aí que o control de calidade de residuos á entrada dunha instalación de codigestión colectiva sexa máis viable que nunha planta individual (a priori nunha granxa, por exemplo, o gandeiro vai ter dificultades para dispor e usar equipos de laboratorio con que realizar as análises necesarias). O dito, por tanto, pode ser un factor limitante para considerar ou imaxinar un escenario de plantas individuais de codigestión, a menos que se limite o tipo de residuos que se vai tratar nelas.

A táboa 3 mostra un resumo de estudos recentes sobre os potenciais metanoxénicos obtidos para varias combinacións de distintos tipos de residuos. A pesar dos bos resultados publicados en diferentes artigos, a combinación de diferentes tipos de residuos pode ter o perigo de introducir substancias tóxicas ou inhibidoras do proceso anaerobio. Por iso, resulta sempre necesario determinar a viabilidade da mestura, así como a proporción correcta de cada substrato e a optimización dos parámetros de proceso, tales como a temperatura, a velocidade de carga orgánica etc.

A introdución de substratos altamente degradables, propiedade apreciada para mellorar a produción de gas, pode causar problemas funcionais de sobrecargas orgánicas no reactor e liberar compostos que inhiben o crecemento de microorganismos. Así pois, é necesario realizar estudos de viabilidade de mesturas con que determinar a presenza de tóxicos ou inhibidores que poderían invalidar os novos residuos como cosubstrato.

3.3.4 Acondicionamento do substrato previo á produción de biogás

Con anterioridade á alimentación do reactor os residuos orgánicos deben ser acondicionados. O obxectivo destas operacións é introducir os residuos tan homoxeneamente como for posible coas condicións físico-químicas axeitadas para o proceso a que será sometido e evitar, así, elementos que poidan afectar aos equipos.

O acondicionamento dos residuos pode realizarse por pretratamento, redución de tamaño de partícula, espesamento, quecemento, control de pH, eliminación de metais e eliminación de axentes patóxenos.

Por último, cabe indicar que ao manexar determinados substratos, caso do esterco, é moi importante non almacenalo por moito tempo, xa que terá lugar unha biodegradación espontánea que afectará á produtividade en biogás na instalación.

3.3.5 Xestión dos residuos e dos subprodutos

Para que unha planta de dixestión anaerobia sexa rendible é esencial a garantía de abastecemento de materias primas, tanto en tempo como en calidade. Tamén é moi importante a homoxeneidade do substrato á entrada do reactor para acadar un



Táboa 3. Potencial específico de metano de varias mesturas de residuos orgánicos.

Referencia	Composición de substrato a codigestión	Producción de metano
Callaghan et al. (1999)	Esterco vacún (100%) Esterco vacún (78%) - R. pesqueiro (22%)	0,30 ^a 0,37 ^a
Murto et al. (2004)	Esterco porcino (83%) - R. industrial (17%) Esterco porcino (71%) - R. industrial (17%) - R. matadoiro (12%) Esterco porcino (66%) - R. industrial (17%) - R. Matadoiro (12%) - R. vexetais e froitas (5%)	0,56 ^a 0,62 ^a 0,68 ^a
Amon et al. (2006)	Esterco porcino (100%) Esterco porcino (94%) - Glicerina (6%) Esterco porcino (54%) - ensilado de millo (31%) - millo (15%) - Esterco porcino (52%) - ensilado de millo (29%) - millo (13%) - glicerina (6%)	0,22 ^a 0,62 ^a 0,34 ^a 0,44 ^a
Ferreira et al. (2007)	Esterco porcino (100%) Esterco porcino (95%) - R. de froitas (5%) Esterco porcino (90%) - R. de froitas (10%) Esterco porcino (85%) - R. de froitas (15%) Esterco porcino (70%) - R. froitas bioconvert. (30%)	3,2 ^b 7,5 ^b 8,4 ^b 9,9 ^b 16,3 ^b
Soldano et al. (2007)	Esterco vacuno - R. agrario - R. agroindustrial	0,74 ^a
Álvarez et al. (2010)	Esterco porcino (100%) Esterco porcino (88%) - R. pesqueiro (4%) - Glicerina (8%) Esterco porcino (84%) - R. pesqueiro (5%) - Glicerina (11%) Esterco porcino (79%) - R. pesqueiro (5%) - Glicerina (16%)	12,8 ^b 53,0 ^b 68,6 ^b 92,3 ^b

^a m³CH₄/kgSV; ^b m³CH₄/t substrato

alto rendimento en biogás. Por exemplo, en plantas de esterco pobres en materia orgánica, se se quere conseguir unha rendibilidade mínima cómpre o uso de efluentes doutras orixes do proceso, como por exemplo os lodos espesados.

Os subprodutos da dixestión anaerobia son a auga e o dixestato, e para a súa utilización posterior hai que ter en conta a lexislación e a composición do efluente do proceso. Moitas veces non se pode empregar tal e como saen do dixestor, senón que se ten que aplicar unha serie de tratamentos como a sedimentación e/ou secado, para a súa posterior utilización na irrigación, na fertilización de campos ou para a súa vendacompost.

3.4 DIAGRAMA E EXEMPLOS DE PLANTAS DE BIOGÁS EN ESPAÑA

A figura 6 amosa o diagrama dunha planta industrial de biogás, cunha tecnoloxía de mestura completa en vía húmida (concentración de sólidos inferior ao 20%) aplicando un axeitado sistema de axitación para unha boa homoxeneización e así evitar a formación de volumes mortos. Nun sistema de mestura completa, o HRT é igual ao tempo de retención de sólidos (TRS).

As instalacións deben dispor de tanques de almacenamento de cosubstratos, co seu propio sistema de alimentación ao dixestor, dependendo do tipo de substrato que se vai codixerir. Unha disposición frecuentemente usada consta de dous biodixestores en serie, de tal xeito que un dixestor pode operar en condicións hidrolíticas e o segundo en condicións metanoxénicas. En ambos, mais especialmente no dixestor metanoxénico, prodúcese biogás que se leva a un gasómetro de almacenamento e



posteriormente ao sistema de coxeración (CHP: Combined Heat and Power), que converte o biogás en enerxía calorífica (40% de rendement) e electricidade (35% de rendement). Pode ser común ter que facer unha limpeza do H₂S do biogás para evitar problemas nos motores de coxeración (permiten un máximo de H₂S de 2000 ppm-0,2% mentres que o biogás pode conter ata 1-1,5% de H₂S, dependendo do contido en sulfato dos cosubstratos que se van tratar).

O dixestato da planta pode levarse a un tanque de almacenamento, onde continúa a recollerse o biogás residual que xera, ou a unha fase de postratamento en que se acondiciona (secado, compostaxe etc.) para o seu uso como fertilizante na agricultura.

A produción eléctrica estimada dunha instalación de biogás depende da biodegradabilidade e potencial metanoxénico dos cosubstratos, da operación e control da planta (normalmente operados con velocidades de carga orgánica de 3-4 gDQO/L·d e tempos de retención hidráulica de 20-30 d e do rendemento do sistema de coxeración).

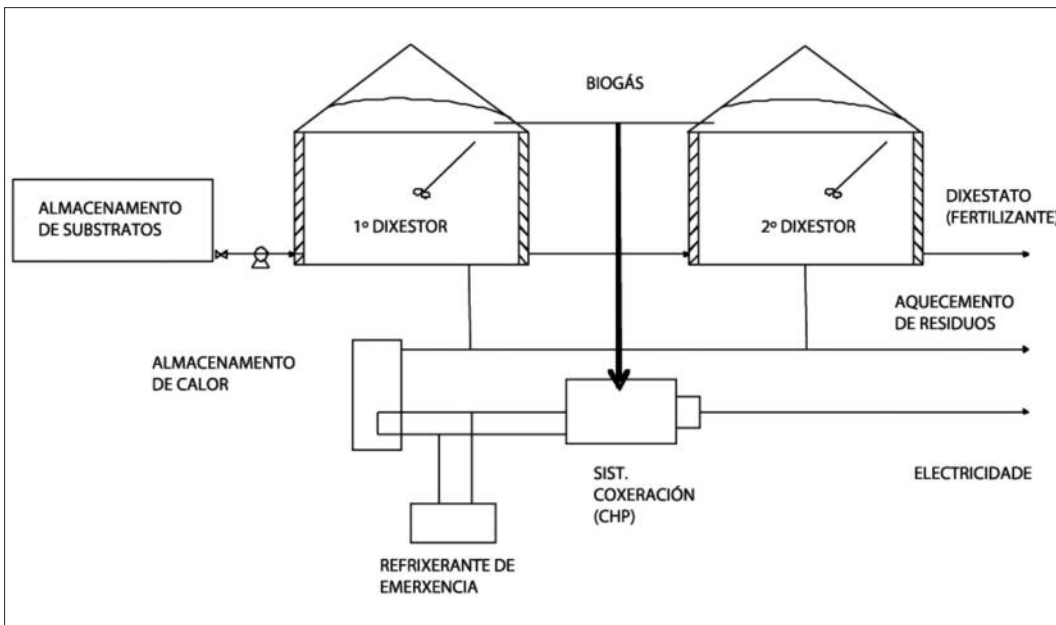


Figura 6. Diagrama das partes dunha planta de codigestión anaerobia (Flotats, 1999).

3.4.1 Planta de codigestión de Ecobiogas

Características xerais da planta

Este proxecto está situado en Vila-sana (Lleida, www.ecobiogas.es), onde a principal actividade da comarca é a gandaría e a agricultura. Concretamente, a planta está instalada nunha granxa de porcos con capacidade de 600 nais reprodutoras, 4.800 prazas de engorde, preto de 1.000 porcos e 2.500 prazas para a recría.

A chave para o éxito da planta de biogás (figura 5) radica no proceso de codigestión dunha mestura de esterco de porcos con residuos orgánicos xerados na comarca. O seu obxectivo é eliminar o problema do esterco, pois na explotación xéranse preto de 11500 m³ de esterco ao ano, que tradicionalmente se aplican no campo, o cal xera graves problemas de contaminación das augas subterráneas.

Dado o exceso de enerxía calorífica xerada na refrixeración do motor, e ante a



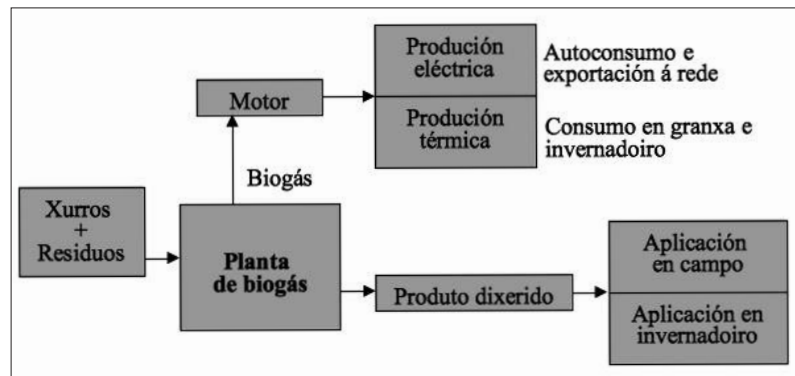


Figura 7. Diagrama funcional da planta de biogás de Ecobiogas.

inminente instalación doutro sistema xemelgo, estase a estudar a posibilidade de utilizar a enerxía para calefactar algunha das naves de animais (a dos leitóns, por exemplo) e así mellorar as condicións de desenvolvemento os animais. Tamén se pensa en aproveitar a calor excedente para quentar un invernadoiro de produción hortícola situado preto do motor-xerador. E, finalmente, considérase a posibilidade de producir frío por absorción para aproveitar a enerxía excedente no verán e con ela arrefriar algunha nave (a das nais, por exemplo).

Operación da planta e resultados

O proceso de codigestión anaerobia comeza coa descarga do material que se vai procesar en dous tanques (figura 8), un de sólidos e outro de líquidos. Por se tratar dunha codigestión, o material para dixerir é unha mestura de esterco (70%) da propia granxa e doutros residuos orgánicos (30%) da comarca, como derivados do alcohol, derivados de aceites vexetais, lodos de tratamento de augas industriais, derivados de froitas, cebola e leite etc. O seu deseño permite tratar ata 11 500 m³/ano de esterco e 4300 t/ano de residuos orgánicos, mentres que a súa potencia eléctrica é duns 380 kW, aínda que a produción de biogás permitiría alimentar outro motor análogo ao existente.

Dende os depósitos, o material mesturado en proporcións axeitadas entra na planta de dixestión, que consta de dous dixestores anaerobios que operan en serie (figura 7). Cada biodixestor ten un volume de traballo de 1.270 m³ o cal fai un total de 2.540 m³. Os produtos deste proceso son, por unha banda, o biogás e pola outra a biomasa dixerida; o primeiro alimenta un motor de combustión interna para xerar electricidade para consumo e exportación á rede, a segunda aplícase para uso en campo ou invernadoiro.

A operación da planta é progresiva e actualmente traballa con 9.000 m³/ano de esterco e 2200 t/ano de residuos orgánicos, o cal dá lugar a produción de biogás de preto de 800 000 m³/ano. O motor instalado funciona as 24 horas do día, a plena capacidade, o cal xera preto de 1.528 MW·h/ano e un excedente térmico de 1.710 MW·h/ano. Ademais dos beneficios económicos, este proxecto é unha solución ambiental para os residuos da comarca, pois reduce a carga de cheiros unhas 95 veces en relación ao esterco fresco. Para alén do dito, o biofertilizante é máis homogéneo, os nutrientes están máis mineralizados e a absorción por parte dos cultivos é mellor. Deste xeito, necesítase un menor uso de fertilizantes químicos e spróvócase unha menor contaminación do solo e da auga.

O investimento feito até agora foi dun 1.080.000 €, cunha subvención pública do 40%. Nun futuro próximo, a idea é ampliar as instalacións cun segundo equipo de coxeración, o cal implica un investimento de 300.000 €.



Figura 8. Fotos da descarga de substrato e dos dixestores de Ecobiogas.

3.4.2 Planta de tratamento de esterco TRACJUSA

Características xerais

A planta de TRACJUSA (figura 8) está situada no concello de Juneda (Lleida) e aplica o proceso de VALPUREN para o tratamento dos residuos da comarca circundante. En concreto, recibe e procesa excedente de esterco de gando de 180 membros asociados.

Estes gandeiros organizaron un plan de xestión conxunto que engloba todos os estercos xerados na comarca para a súa xestión nas terras agrícolas e nas dúas plantas de tratamento na comarca de Les Garrigues. Do total de esterco producido na comarca, o 60% trátase nas plantas e o resto emprégase como fertilizante: un 20% é administrado pola sociedade de gandeiros e o resto xestiónao cada gandeiro por conta propia, mais sempre informando á asociación, o cal é esencial para o éxito da xestión do abastecemento de esterco na planta.

Con este proxecto preténdese resolver de raíz o problema dos excedentes de esterco a un custo razoable polos gandeiros e recuperar máis do 95% do N e practicamente todo o P e K. Así mesmo, a biodixestión elimina unha gran parte do cheiro e recupérase unha parte significativa do contido enerxético dos residuos na forma de biogás.

A planta trata 100.000 t/ano de esterco e xera uns 16,3 MW·h (5-8% procedente do biogás e o resto de gas natural) así como 6000 t/ano de fertilizantes, cunha composición NPK: 7-4-7, e un 40% de materia orgánica. Os ingresos da planta orixínanse por tres vías: electricidade 95%; fertilizante peletizado 1-2%; e canon de tratamento e xestión 1-2%.

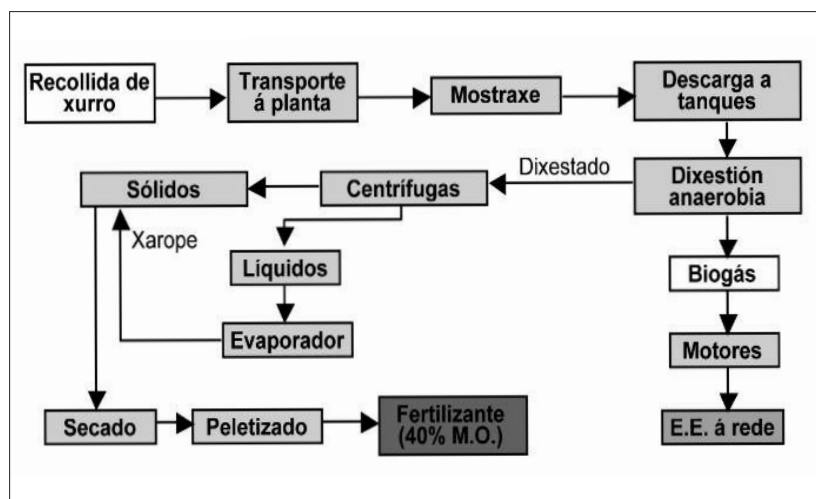


Figura 9. Esquema da planta de biogás de TRACJUSA.



Operación

O proceso comeza cando o esterco é transportado das granxas e chega á planta en camiións ou tractores con cisterna. Os vehículos pénsanse nunha báscula, descargan mediante unha bomba que vehiculiza uns 300 m³/h, e volven á báscula para o cálculo do esterco descargado. Antes da saída, o vehículo é desinfectado se vai cara a outra granxa para así evitar unha posible transmisión de infeccións ou enfermidades. A figura 8 mostra as fotos de diferentes partes da planta.

Unha vez descargado o esterco, almacénase nun dos tres tanques de almacenaxe, que alimentan os dixestores de 3.000 m³ que operan a 37,5 ° C, cun TRH de 21 días. Alén do biogás, que se almacena nun gasómetro antes da utilización no motor, os produtos da dixestión son: a) o dixestato, que é concentrado por centrifugación até un 25-30% da fracción sólida; e b) a fracción líquida, que é neutralizada con ácido sulfúrico para a fixación de nitróxeno amoniacal; posteriormente trátase nun evaporador onde a auga se emprega para a irrigación e o concentrado se engade á fracción sólida.

A seguir, realízase un secado indirecto que produce vapor de auga e un fertilizante cunha relación N/P/K de 7/4/7 e un 40% de materia orgánica. Debido ao proceso de secado, a demanda da central é moi superior á produción de biogás e a unidade de coxeración dispón de 6 motores (2,7 MW en total), dos cales só un deles é alimentado por biogás. Globalmente, a unidade de coxeración da planta aliméntase cun 5-8% de biogás producido nos dixestores e cun 92-95% de gas natural.

A auga de refrixeración do motor emprégase para quentar os dixestores a unha temperatura aproximada de 37,5 ° C. Pola súa banda, os gases da combustión pasan á caldeira de vapor e despois ao secadoiro. O vapor úsase no evaporador de película descendente que se emprega para concentrar a fracción líquida neutralizada.

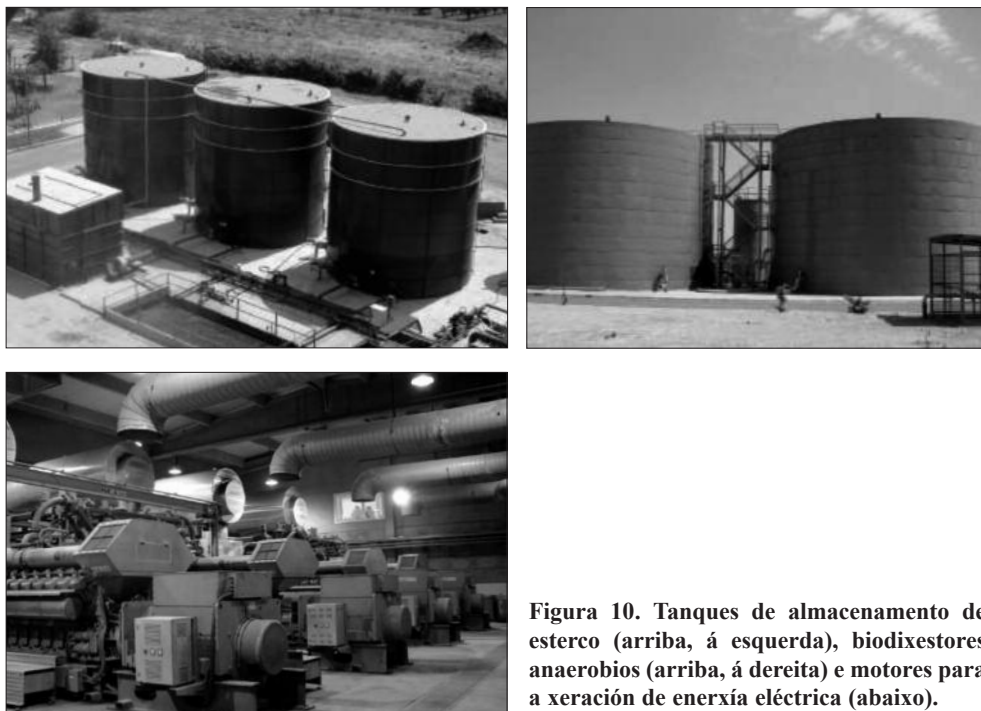


Figura 10. Tanques de almacenamento de esterco (arriba, á esquerda), biodixestores anaerobios (arriba, á dereita) e motores para a xeración de enerxía eléctrica (abaixo).

Mellora da planta mediante codixestión

Tendo en conta a baixa produción de biogás, por mor da mala calidade do esterco como precursor de biogás, desde hai dous anos faise unha codixestión con resi-

duos dun matadoiro de paspallás que supón un 3% da masa total. Os resultados da proba de produción de biogás con ou sen codigestión son contundentes: con só esterco prodúcese 12 m³ de biogás/t de substrato mentres que incorporando un 3% ou un 6% de residuos do matadoiro a produción dispárase até 20 m³/t e 29 m³ de biogás/t, respectivamente.

REFERENCIAS

- Álvarez, J. A. / Otero, L. / Lema, J. M. (2010): "A methodology for optimising feed composition for anaerobic co-digestion of agro-industrial wastes", *Bioresour. Technol.*, 101: 1153-1158
- Amon, T. / Amon, B. / Kryvoruchko, V. / Bodiroza, V. / Pötsch, E. / Zollitsch, W. (2006): "Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation", *Inter. Congress Series*, 1293: 217-220.
- Angelidaki, I. / Ahring, B. (1993): "Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: effect of ammonia", *Applied Microbiol. Biotechnol.*, 38: 560-564.
- Angelidaki, I. / Ellegaard, L. (2003): "Codigestion of manure and Organic wastes in centralized biogas plants", *Applied Biochem. Biotechnol.*, 109: 95-105.
- Callaghan, F. J. / Wase, D. A. J. / Thayanythy y Forster, C.F. (1999): "Co-digestion of waste organic solids: Batch studies", *Bioresour. Technol.* 67: 117-122.
- Dinsdale, R.M. / Premier, G.C. / Hawkes, F.R. / Hawkes, D. L. (2000): "Two stage anaerobic codigestion of waste activated sludge and fruit/vegetable waste using inclined tubular digesters", *Bioresour. Technol.*, 72: 159-168.
- Ferreira, L. / Duarte, E./ Silva, C. / Malfeito, M. (2007): "Fruit wastes bioconversion for anaerobic co-digestion with pig manure. Process development for the recycling in decentralised farm scale plants", en *Proceedings of the International Conference Progress in Biogas: 135-140* (Stuttgart, Germany).
- Flotats, X. / Bonmatí, A. / Campos, E. / Antúnez, M. (1999): "Ensayos en discontinuo de codigestión anaerobia termofílica de estercoles de cerdo y lodos residuales", *Información Tecnológica*, 10 (1): 79-85.-
- Flotats, X. / Palatsi, J. (2003): "Tecnologías de tratamiento de estercoles de cerdo", *Nuestra Cabaña*, 323: 48-57.
- Hansen, K. H. / Angelidaki, I. / Ahring, B. K. (1998): "Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia", *Water Res.*, 38: 5-12.
- Hartmann, H./ Angelidaki, I. / Ahring, B. K. (2003): "Co-digestion of the organic fraction of municipal waste with other waste types" en Mata-Álvarez (ed.), *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes* (IWA Publishing, UK).
- Hashimoto, A. G. (1986): "Ammonia inhibition of methanogenesis from cattle wastes", *Agricul. Wastes*, 17: 241-261.
- Hill, D. T. / Bolte, J. P. (1987): "Modelling fatty acid relationships in animal waste anaerobic digesters", *Trans. ASAE*, 30 (2): 502-508.
- Lema, J. M. / Méndez, R. / Soto, M. (xaneiro 1992): "Bases cinéticas y microbiológicas en el diseño de digestores anaerobios", *Ingeniería Química*, 24(273): 191-201.
- Murto, M. / Björnsson, L. / Mattiasson, B. (2004): "Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure", *J. Environ. Manag.*, 70: 101-107.
- Robbins J. E. / Gerhardt S. A. / Kappel T. J. (1989): "Effects of total ammonia on the digestion of and an example of digester performance from cattle manure protein mixtures", *Biol Wastes*, 27: 1-14
- Soldano, M. / Fabbri, C. / Piccinini, S. (2007): "Co-digestion plant in dairy cattle farm in Emilia Romagna region (Italy)" en *Proceedings of the International Conference Progress in Biogas:95-99* (Stuttgart, Germany).
- Soto, M. / Méndez, R. / Lema, J. M. (outubro 1993): "Operación y control de digestores anaerobios (II)", *Ingeniería Química*, 25 (295):131-136.
- Van Velsen, A. F. M. (1979): "Adaptation of methanogenic sludge to high ammonia-nitrogen concentrations", *Water Res.*, 13: 995-999.-



- Weiland, P. (2000): "Anaerobic waste digestion in Germany-Status and recent developments",
Biodegra., 11 (6): 415-421.

4. O USO DE INVERTEBRADOS COMO MATERIA PRIMA PARA PRODUCIR BIODIÉSEL

Alfredo Llecha Galiñares, José A. Rodríguez Añón, Xurxo Proupín Castiñeiras e María Villanueva López

4.1 INTRODUCCIÓN

Como unha consecuencia natural do uso insostible e irracional dos recursos enerxéticos aparece inevitablemente unha situación de crise. Este panorama incerto, e que pon en verdadeiro perigo a sociedade que coñecemos actualmente, fai que se estean a desenvolver multitude de iniciativas no eido das enerxías renovables, dentro das cales xorden os biocombustibles. Nos derradeiros catro anos investigadores da empresa AA Solar Fotovoltaica S. L. e do Grupo de investigación TERBIPRO-MAT da USC están a investigar en biocombustibles que poderíamos denominar de terceira xeración. Nesta investigación desenvólvese un proceso para producir, por un lado, biodiésel a partir dunha fonte que historicamente foi renovable, os invertebrados, e polo outro uns subprodutos que poidan utilizarse na industria primaria da alimentación, especialmente en granxas avícolas e/ou piscícolas. A maiores ábrese a posibilidade de utilizar invertebrados cuxa alimentación se basea ou ben en subprodutos residuais da industria agroalimentaria, ou ben na gandeira como o xurro e poder así solucionar un grave problema de deterioración ambiental que está a limitar o desenvolvemento destes sectores na nosa comunidade autónoma.

A produción de biodiésel utilizando como materia prima invertebrados engloba as vantaxes propias do elaborado a partir de especies vexetais consistentes en diminuír entre un 25% a un 80% as emisións de inqueimados e partículas, CO₂ e outros compostos como CO, NO_x, responsables do efecto invernadoiro, en reducir o desgaste de determinados compoñentes dos motores polo seu maior índice de octano e lubricidade, en non ter compostos de xofre nin aromáticos polinucleares, ou en recuperar economías a escala no tecido rural, mais a maiores ofrece a non competencia con intereses alimentarios, a necesidade de extensións moito menores de terreo para a implantación de instalacións.

Por tanto, a proposta de obter biocombustibles a partir de invertebrados ofrécese como unha alternativa á liña de investigación habitual de xerar aceites a partir de especies vexetais, tanto terrestres como mariñas, e que aínda que se implantou con moita forza hai unhas décadas, na actualidade comeza a ter detractores a todos os niveis.



4.2 UTILIZACIÓN DE INVERTEBRADOS COMO MATERIA PRIMA PARA ELABORAR BIOCOMBUSTIBLES DE TERCEIRA XERACIÓN

A alternativa aquí proposta ten como obxectivo prioritario o deseño dun proceso rendible, tanto económico como social e ambientalmente, para a obtención de aceites a partir de invertebrados, máis concretamente a partir de coleópteros tenebriónidos e escarabeidae, como base para a elaboración de biodiésel. Para iso analízanse os insectos e as súas larvas, seres que na natureza son devoradores de carbohidratos, para adaptar a súa alimentación aos produtos e subprodutos da industria agroalimentaria e gandeira (Landis e Werling, 2010).

As vantaxas que esta proposta ten fronte ás tradicionais de explotación de cultivos enerxéticos son:

- Utilización dunha biomasa cunha capacidade de crecemento moi grande, propia das especies estudadas, e que en condicións axeitadas poden poñer uns 2.500 ovos por femia, caso do coleóptero *Zophobas opacus* Sahlberg. Por tanto, o problema existente coas especies vexetais utilizadas tradicionalmente verbo da relación produtividade/espazo necesario soluciónase, xa que as instalacións para a cría de invertebrados son infinitamente inferiores. Así, e cuns investimentos económicos semellantes, para a obtención dunhas 250 t de aceite ao ano só farían falla uns 2.500 m² fronte ás máis de 350 ha para unha plantación tipo *Jatropha curcas* como exemplo dunha das opcións mais produtivas. Estas instalacións serían modulables de aí que para duplicar a produción apenas habería que ampliar a instalación.
- Facilitade e economía á hora da súa cría en instalacións industriais. Isto abre as portas á posibilidade de altas producións en espazos pequenos. As instalacións son de construción sinxela, de modo que nun volume de 45 dm³ se pode ter unha densidade mínima duns 250 individuos, aproximadamente uns 375 g.
- Requirimentos nutricionais básicos e económicos. Este tipo de invertebrados son omnívoros e a súa dieta vai desde o gran almacenado de diferente orixe até cadáveres de animais, pasando por calquera composto orgánico fresco ou residual. Neste punto tería cabida a utilización de excedentes de xurro ou restos da industria agroalimentaria como dieta para os invertebrados.
- Instalacións sinxelas sen necesidades especiais que as fan idóneas para a súa implantación no tecido rural galego e favorecen a recuperación económica de zonas economicamente castigadas. Máis concretamente, este tipo de instalacións debería instalarse preferentemente en zonas onde os excedentes agrícolas e gandeiros puidesen ser utilizados coma materia prima na alimentación.
- Xeración non só de aceites de elevada calidade que nos permitan a elaboración de biocombustibles de “terceira” xeración, máis concretamente de biodiésel ou, se for o caso, de biolubricantes, senón tamén subprodutos de interese estratéxico cunha importante saída no mercado de alimentación primaria utilizables para a alimentación en granxas avícolas ou piscifactorías. Unha vez extraído o aceite, o resto do produto obtido, principalmente unha masa a base de proteínas e resto de graxas, pode ser utilizado como materia prima con que elaborar alimento para as granxas avícolas ou piscícolas, tal e como se fai en moitos países asiáticos.
- Aparición dunha alternativa máis para o tratamento da fracción orgánica dos residuos sólidos urbanos (RSU) ou excedentes da industria agrícola o gandeira. Neste proceso produciríanse, ademais, cilindros de excreción que poderían ser usados para mellorar a estrutura e osixenación de solos degradados ou mellorar as propiedades do compost para utilizalos coma fertilizante na agricultura ecolóxica.



En relación co punto 5, os alimentos para as granxas avícolas ou piscícolas, con valores nutricionais medios observados de 45% de proteína en base seca, 18% de graxas, 8% de carbohidratos e 54% de humidade, está a obter enormes rendementos nestas instalacións de cría, para alén de eliminar os problemas relacionados coa seguridade e calidade alimentaria de aves ou peixes como os provocados no escándalo das vacas tolas ou dos salmóns en piscifactoría. Estes produtos cubrirían parte da dependencia actual da UE na importación de próticos alimenticios para o sector primario, que na actualidade está cifrada nun 70%. Dito isto, temos que ter en conta que as especies de invertebrados estudadas teñen máis dun 40% do seu peso aproveitable como lípidos e proteínas a partes equivalentes (base húmida). O alto rendimento da cría destas especies, así como os prezos dos seus subprodutos, uns 0,6-0,8 € kg-1, tanto para lípidos coma próticos, fai deste proceso unha alternativa económica e ambiental moi interesante, pois cobre a demanda de produción destas materias primas deficitarias na UE e, asemade, ofrece unha solución ao tratamento dos residuos mencionados.



Figura 1. A enorme capacidade de reprodución xunto coas mínimas necesidades nutricionais fan desta biomasa un “produto” moi interesante desde o punto de vista industrial.

Xa que logo, vemos como nesta iniciativa converxen:

- Intereses ambientais, xa que axudan a mitigar o cambio climático de forma conxunta coa agricultura tradicional enfocada á produción de alimentos ou á recuperación de bosques con interese ecolóxico global, ao contrario que os biocombustibles tradicionais. Por outra banda, a vista da analítica realizada nos aceites obtidos nas experiencias realizadas até o momento, non se detectou presenza de metais pesados, xofre ou calquera outro elemento nocivo para o medio. Ademais, parte dos subprodutos obtidos son emendas naturais para recuperar a estrutura e a osixenación dos solos agrícolas.
- Intereses sociais, ao favorecer a recuperación poboacional do rural galego, que desde hai anos está a sufrir unha perda de capital humano. Isto axudaría a unha mellor distribución dos recursos e ao establecemento de medidas encamiñadas a mellorar a calidade de vida da xente destas zonas. Así, a implantación de instalacións de procesado de invertebrados non necesita nin grandes extensións, nin requirimentos tecnolóxicos especiais nin grandes investimentos.
- Intereses económicos, xa que se favorecería a creación dun tecido produtivo en zonas actualmente deprimidas, baseado na diversificación de produtos (biodiésel, pensos e abonos orgánicos de alta calidade).



4.3 CUESTIÓNS DE BIOSEGURIDADE

Na actualidade estanse a investigar diferentes clases de invertebrados coa idea de deseñar un proceso co máximo rendemento posible. Aínda así temos que ter en conta que calquera das especies con que se está a traballar está considerada como “non pest insect” en USA e outras moitas xa están presentes en España aínda que de forma moi concreta e escasa. Ademais, como garantía extra, para alén de que as instalacións están pensadas cuns niveis de seguranza que impidan calquera proceso de exposición ao exterior, todas as especies con que se está a traballar non soportan nin temperaturas inferiores a 20°C nin humidades superiores ao 30%.

Co fin de evitar calquera problema non desexado, a derradeira especie estudada para eliminar calquera dúbida relacionada coa bioseguridade, posúe unhas características tales como:

- O ser adulto non posúe sistema dixestivo, por tanto, non come nin excreta.
- A súa larva necesita grandes cantidades de nutrientes nun mesmo punto; como queira que presentan unha baixa mobilidade, teñen nulas posibilidades de sobreviviren fóra das instalacións.
- Os adultos copulan en voo se as condicións de luz e temperatura son ideais, parámetros estes moi dificilmente alcanzables no exterior.
- Non son molestos para as persoas nin animais, xa que o macho nunca se achega ás fontes alimenticias e a femia vai ovopositar directamente aos focos de comida putrescente para as súas larvas. É dicir, fan a súa vida nestes medios ideais para eles, mais que son “indesexables” para nós.
- Na fase larva depreda outras larvas de mosca e impídelles ás femias de moscas “perigosas” ou molestas para a saúde do gando e as persoas poderen prosperar (biocontrol).

4.4 PRIMEIROS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Tal e como comentamos anteriormente, a aplicabilidade non só é case inmediata, senón que pode ser considerada como estratéxica polo impacto social, económico e ambiental que ten na actualidade. Por tanto, e con base nos obxectivos propostos, temos que dicir que tanto a introdución no mercado, como a aplicabilidade do produto principal xerado nesta investigación, o biodiésel obtido a partir dos aceites dos invertebrados, sería inmediata a través das múltiples canles que xa na actualidade ten este combustible para a súa distribución, e a demanda que a industria do biodiésel ten e terá nos vindeiros anos.

Na táboa 1 expóñense os datos mais relevantes dos estudos levados a cabo até o momento.

Dentro dos resultados presentados na táboa 1, salientan os seguintes:

- O índice de iodo é un valor moi inferior ao dos aceites utilizados convencionalmente para elaborar biodiésel. Por exemplo, o aceite de xirasol posúe un valor preto a 120, o de rícino de 140, o de liñaza refinado 190 ou o do peixe 200. Canto mais baixo sexa este valor mellor xa que representa os gramos de halóxeno, calculado en iodo que poden fixar baixo certas condicións, 100 g dunha substancia.
- Unha porcentaxe en ácidos graxos insaturados (oleico e linoleico maioritariamente) semellantes a dos aceites de orixe vexetal máis utilizados.



- Variedade de ácidos graxos nunha cantidade superior á dos aceites de orixe vexetal convencionais.
- Un poder calorífico superior ou semellante aos aceites usados para elaborar biodiésel e de orixe vexetal. Debemos ter en conta que o poder calorífico superior do diésel convencional é duns 42 700 kJ kg-1 (10 200 kcal kg-1).
- Índice de viscosidade semellante ao dos aceites lubrificante convencionais.
- Composición da torta proteica. As cantidades importantes de quitina favorecen a dixestibilidade por parte de aves e peixes, o cal mellora a rendibilidade das explotacións piscícolas e avícolas
- Rendemento de extracción de aceite. Aínda que os estudos están nun estado inicial, se analizamos os resultados coa extracción tradicional de aceites a partir de vexetais (4-5 l m-3 pero para ser rendible e sostible necesítanse miles de ha e dependencia climática) ou algas (0,6 l m-3), os resultados obtidos a partir dos invertebrados son excelentes. Por tanto, o procedemento proposto a partir de vermes é moi superior a iniciativas tan de moda como cultivos tipo *Jatropha* ou as algas e que foron postos en dúbida polo DOE (U.S. Department of Energy) (Sheehan et al., 1998; Schenk et al., 2008) despois de máis de 20 anos de estudos, a elevada calidade dos aceites obtidos, ou os subproductos obtidos cunha calidade excelente para a súa utilización como pensos en granxas avícolas ou piscícolas.

Táboa 1. Produtos obtidos no laboratorio utilizando vermes como biorrefinaría.

• Índice de iodo (Hanus)*: <81
• Porcentaxe en ácidos graxos insaturados : > 80 %
• Variedade ácidos graxos : >16 ácidos graxos diferentes saturados e insaturados
• Presenza de metais pesados e elementos potencialmente contaminantes: Nula (non detectable)
• Poder calorífico superior** : - 39.600 kJ kg-1 (9.473 kcal kg-1) para o aceite - 21.140 kJ kg-1 (5.057 kcal kg-1) para o concentrado proteico
• Índice de viscosidade : 202,2
• Composición torta proteica : Torta maioritariamente proteica, uns 170 g kg-1 dunha variedade de máis de 21 aminoácidos diferentes, cunha porcentaxe dun 5-8% de carbohidratos, un 15% de graxa, cantidades importantes de quitina e unha humidade variable en función do proceso (10-15 %)
• Invertebrados con que se traballou : Tres xéneros diferentes para buscar a máxima rendibilidade e reforzar a bioseguridade no proceso
• Rendemento de extracción de aceite : >30 % (de 0,9 a 1 l m-3)
* Segundo norma NSR-UNE 55013. ** Segundo normas DIN/IKA para a UE-DIN 51900, ISO 1928 e ASTM D240, ASTM D4809, ASTM D5865, ASTM D1989, ASTM D5468 e ASTM E711 para os EEUU.

O principal problema que teñen estes aceites é que de se queren usar como materia base para biodiésel tanto o poff ou punto obstrución por filtro frío, o punto de conxelación e o punto nube serían moi baixos. Por esta razón aconséllase utilizar o aceite directamente como combustible para caldeiras (alto poder calorífico e sen contaminantes).





Figura 2. Vista dunha plantación de Jatropha.



Figura 3. Vista dunha instalación de cultivo de microalgas.

4.5 POSIBILIDADES DE IMPLANTACIÓN DOS COMBUSTIBLES DE TERCEIRA XERACIÓN A PARTIR DE INVERTEBRADOS EN GALICIA

A evolución que nos derradeiros anos están a ter as explotacións gandeiras intensivas en Galicia, fundamentalmente aquelas centradas na cría de porcos orientadas cara ás máximas de mercado (unidades cun gran número de animais en pequenos espazos de terreo que non permiten absorber gran cantidade de residuos xerados nestas) está a presentar serios problemas ambientais no seu manexo e xestión e que chocan radicalmente cos intereses de expansión e estabilización dun sector cunha enorme potencialidade na nosa comunidade.

Os problemas ambientais que os subprodutos residuais xerados nestas explotacións gandeiras están a provocar a todos os niveis, en especial os xurros, levaron á administración a aplicar controis cada vez máis ríxidos para tentar darlle unha solución viable, eficaz e economicamente aceptable.

De forma global esta iniciativa propón conxugar neste marco xurídico tan complexo non só medidas correctoras encamiñadas a evitar procesos sancionadores, senón tamén un tipo de xestión beneficioso para todos os sectores implicados ao aproveitar a carga orgánica e fertilizante que estes xurros posúen para a súa utilización en agricultura, acuicultura ou avicultura, e dar, así, unha solución global a un produto dificilmente eliminable ou, cando menos, en función das necesidades, reducir o seu poder contaminante ao máximo posible para facilitar procesos posteriores de tratamento (Drnevich et al., 2001; Tami, 2004). Este tipo de biotratamentos para os xurros xerados nas explotacións de cría e engorde de porcino ou calquera outro tipo de explotación gandeira serían unha alternativa eficaz ao problema do tratamento integral nestas granxas e permitirá obter beneficios a diferentes niveis xa que:

- Permitiría reducir a cantidade de sólidos totais presentes e o volume total de residuo que se vai tratar.
- Reducir ou eliminar a presenza de patóxenos.
- Eliminar ou minimizar os riscos ambientais.
- E, se for posible, acadar algún beneficio alternativo, como o derivado da comercialización da torta con alta concentración proteica para o mercado da alimentación primaria.

A utilización do metabolismo de insectos na transformación directa dos produtos residuais das explotacións agropecuarias, en especial os xurros, en próticos alimenticios e lípidos enerxéticos en forma de pensos e aceite respectivamente, axuda a reducir ao máximo o volume de residuo para tratar e a obtención dun subproduto útil para a agricultura e materia prima para a avicultura ou a acuicultura (Kono et al., 1987; Ng et al., 2001; Tsybina et al., 2005), outros dos grandes sectores cun enorme futuro en Galicia.

REFERENCIAS

- Drnevich JM, Papke RS, Rauser CL e Rutowski RL. Material Benefits from Multiple Mating in Female Mealworm Beetles (*Tenebrio molitor* L.). *Journal of Insect Behavior*, 14 (2001).
- Kono M, Matsui T e Shimizu C. Effect of Chitin, Chitosan, and Cellulose as Diet Supplements on the Growth of Cultured Fish. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53 (1987).
- Landis DA e Werling BP. Arthropods and biofuel production systems in North America. *Insect Science* 17 (2010).
- Ng WK, Liew FL, Ang LP e Wong KW. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research*, 32 (2001).
- Schenk PM, Thomas-Hall SR, Stephens E, Marx UC, Mussnug JH, Posten C, Kruse O e Hankamer B. Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. *Bioenerg. Res.* 1 (2008)
- Sheehan J et al. A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program—Biodiesel from Algae. U.S. Department of Energy's Office of Fuels Development (1998).
- Tami Barry M.A. Evaluation of the economic, social, and biological feasibility of bioconverting food wastes with the black soldier fly (*Hermetia illucens*). Dissertation Prepared for the Degree of Doctor of Philosophy University of North Texas (2004).-
- Tsybina TA, Dunaevsky YE, Belozersky MA, Zhuzhikov DP, Oppert B e Elpidina EN. Digestive Proteinases of Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) Larvae: Purification and Characterization of a Trypsin-Like Proteinase. *Biochemistry (Moscow)*, 70 (2005)-Translated from *Biokhimiya* 70 (2005).



5. O PROXECTO “QUALITY WOOD”: LEÑA ECOEFICIENTE E DE CALIDADE

Gonzalo Veiras

Este proxecto, financiado polo programa Altener da Unión Europea, foi realizado polos organismos VTT de Finlandia, SINTEF de Noruega, ADEME de Francia, AEA de Austria, e CENER e CIS-Madeira de España. Os obxectivos fundamentais do estudo foron incentivar o uso da leña como biocombustible a partir da mellora da calidade da leña, mediante a promoción de sistemas máis sofisticados de produción e loxística, o fomento da profesionalización da súa produción e comercialización e, por último, ofrecer información práctica de como mellorar a eficiencia e diminuír as emisións na súa combustión.

5.1 INTRODUCCIÓN

No ano 2006 o uso doméstico da biomasa forestal atinxiu, nos países da EU-27, un total de 1.334 PJ (370 TWh), o que equivale a máis de 148 millóns de m³ de leña amontoada, dos que máis da metade foron a través do emprego de leña. Os maiores consumidores domésticos de biocombustibles de madeira foron Francia (319 PJ), Alemaña (222 PJ), Polonia (105 PJ) e Romanía (108 PJ)⁽¹⁾. España neste mesmo ano consumiu 85 PJ⁽²⁾.

É importante destacar que desde o ano 2000 o incremento do consumo medio da biomasa forestal na UE-27 foi dun 12%, e existe unha tendencia xeral a que siga aumentando.

Aínda que na actualidade, e de forma xeral en toda Europa, o comercio da leña se realiza de forma non oficial con transaccións moi locais, estase a notar un incremento notable da comercialización a través de empresas, e incluso se comeza a comercializar a través de Internet.

Habitualmente, no mercado da leña non é común o emprego de normas e controis de calidade, se ben cada vez máis existe un maior interese por estes aspectos. Na actualidade, a experiencia e a inspección visual son os sistemas máis empregados para controlar a calidade. Dentro das propiedades da madeira, a que máis

1. Woody biomass use in households in the EU27, 2000-2006. www.eufire-wood.com

2. Unidades: PJ – Petajoule (equivale a 10¹⁵ Joules); TWh – Terawatio-hora (equivale a 10¹² Wh).



influencia ten na súa calidade é o seu contido en humidade. A humidade da leña é esencial para evitar as emisións de partículas durante a súa combustión, xa que unha madeira cun contido de humidade superior ao 20% pode incrementar as emisións de 10 a 30 veces con respecto a unha madeira seca.

Tradicionalmente, a produción de leña foi realizada por pequenas empresas forestais ou agrícolas que xestionan pequenas cantidades e de forma estacional, combinando este traballo coa súa actividade principal. Normalmente, estas empresas baséanse na man de obra e empregan tecnoloxía anticuada. Na actualidade existe unha tendencia á profesionalización destas empresas que aumentan a súa produción (máis de 1.000 m³/ano) normalmente coa instalación de equipos con maior automatización e máis eficientes. Ademais, estas empresas realizan na planta de fabricación o secado, o almacenamento e o envasado ou empaquetado. Aínda que nestes momentos non é habitual, xa existen empresas que dispoñen de cámaras de secado co fin de poder ter unha produción de leña seca, independentemente das condicións climatolóxicas. Desta forma as empresas poden realizar un traballo continuo de produción de leña durante todo o ano.

5.2 O USO DA LEÑA COMO FONTE DE ENERXÍA EN GALIZA

De forma tradicional a leña foi a fonte de enerxía principal para os habitantes do rural galego, a súa combustión permitía xerar a enerxía necesaria para as cociñas e para quentar as casas. Desta forma, o monte supoñía un elemento fundamental para o mantemento da comunidade; as árbores proporcionaban a madeira para a construción e a elaboración de carpintería e mobiliario e a leña para a xeración de enerxía térmica; ademais, o mato empregábase para a elaboración de camas de gando e posteriormente como abono para as terras agrícolas. Este aproveitamento integral do monte fixo un recurso moi necesario e valorado, que en certa medida pode explicar o apego ao terreo que teñen a maioría dos galegos.

O emprego da leña como combustible ten un punto de inflexión coa aparición doutros combustibles derivados do petróleo (principalmente o gas e o gasóleo) e da electrificación do rural. Estes combustibles, inicialmente baratos e con maior facilidade de uso, debido a un maior grao tecnolóxico nos dispositivos de aproveitamento, fixeron que a leña fose perdendo protagonismo paulatinamente.

Durante este tempo de predominancia dos combustibles fósiles para uso doméstico, a diminución do aproveitamento da leña, pode explicar en parte o recente incremento da superficie e das existencias das frondosas autóctonas.

Os datos dos últimos inventarios forestais nacionais, o IFN2 e IFN3, indican que entre os anos transcorridos entre inventarios, 1987 a 1998, en Galiza a superficie de frondosas autóctonas pasou de 238.372 ha a 396.690 ha, incrementouse, por tanto, a súa superficie nun 66%.

O IFN3 indica un volume de existencias de madeira de frondosas autóctonas de máis de 36,88 millóns de m³ con casca, lixeiramente por enriba das existencias de eucalipto, estimadas en 36,33 millóns de m³ con casca. As principais especies por volume son as especies do xénero *Quercus*, principalmente *Quercus robur* e *Quercus pyrenaica*, que representan o 64% do total das frondosas autóctonas, acadando unhas existencias totais de 23,5 millóns de m³ con casca.

Con respecto á súa distribución, as provincias do interior son as que dispoñen das maiores existencias (Figura 1). Lugo dispón de 18,37 M de m³ c.c. o que represen-



ta o 50% de toda Galiza, séguese Ourense con 9,97 M de m³ c.c. e que representa o 24% de toda Galiza. A táboa 1 mostra estes datos distribuídos segundo o tipo de frondosa.

Táboa 1. Distribución do volume de madeira de frondosas nos bosques galegos.

	<i>Quercus robur & Q. pyrenaica</i>		Outras frondosas	
	Vcc	%	Vcc	%
A Coruña	2.523.275	11%	1.806.069	14%
Lugo	11.192.192	48%	7.179.418	54%
Ourense	6.711.958	29%	3.256.837	24%
Pontevedra	3.099.204	13%	1.120.726	8%

Fonte: IFN3

No contexto actual, onde unha gran parte da sociedade ten un maior grao de concienciación sobre a conservación e mantemento do medio natural, a leña supón unha alternativa viable e sustentable de fonte de enerxía. Con respecto a isto, un aproveitamento das nosas masas de frondosas realizado de forma sustentable permitiría revalorizar o monte na sociedade en xeral e sobre todo crear un negocio de carácter rural que permita o mantemento e sostemento da poboación nos núcleos rurais. Outro aspecto que temos que destacar neste momento é o incremento actual no prezo da enerxía derivada dos combustibles fósiles (incluído tamén o custo da electricidade) e a tendencia a que no custo final destes combustibles se vaian incluíndo os custos reais que os ditos combustibles poden xerar noutros aspectos, como por exemplo o medioambiental.

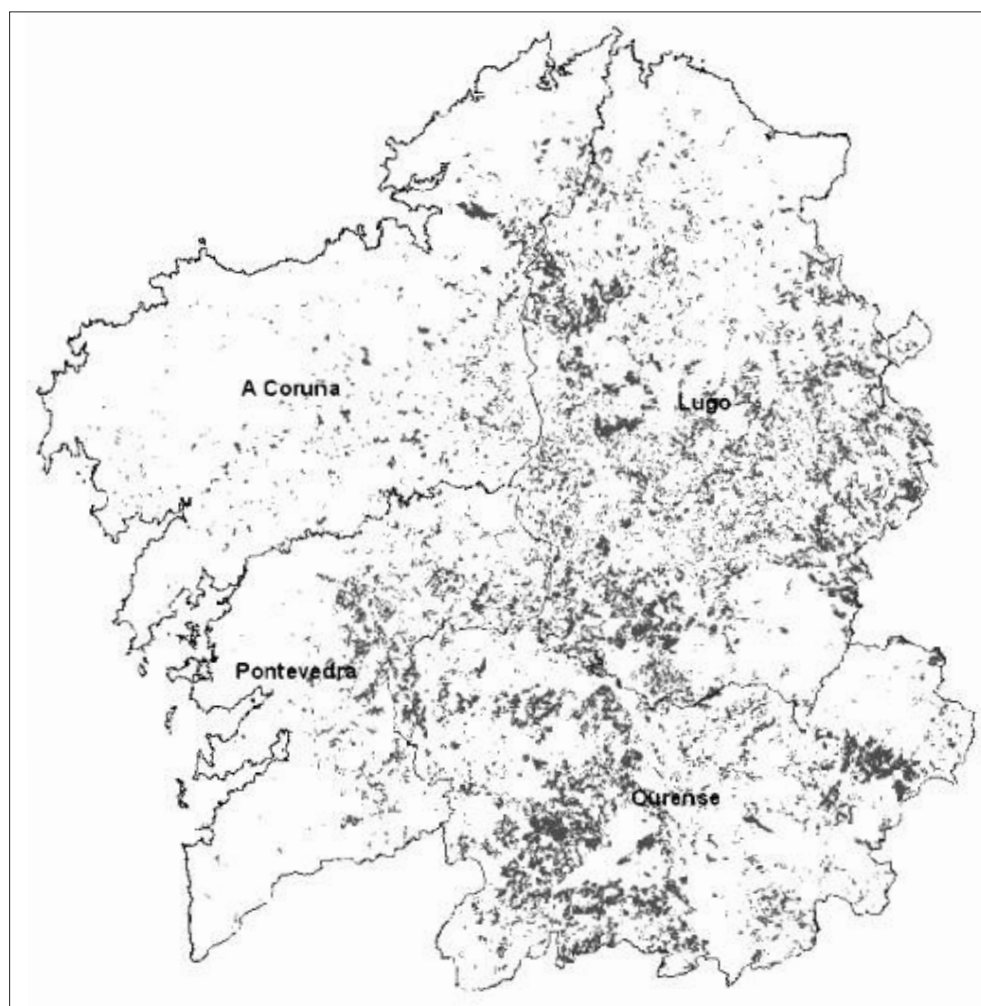


Figura 1. Distribución das masas de carballo en Galicia. Fonte: IFN3.



Xunto a isto, durante os últimos anos vén de producirse principalmente en Europa un importante desenvolvemento tecnolóxico nos sistemas de combustión de biomasa forestal, e por suposto da leña. Estas tecnoloxías, permiten facer un aproveitamento da leña de forma moito máis eficaz e cunha comodidade adecuada á calidade e ao estilo de vida actual. Desta forma, o emprego da leña tradicional equipárase en comodidade e calidade co que ofrecen as tecnoloxías existentes para combustibles fósiles.

A principal misión deste artigo é a de elaborar unha guía que permita aos posibles usuarios de leña, informarse e saber como optimizar a eficiencia no seu uso e como minimizar as emisións derivadas.

5.3 COMO ARDE A LEÑA?

Durante a combustión da leña existen tres etapas ou fases:

Etapa 1. Evaporación da auga

A madeira dispón sempre dunha certa cantidade de auga. Cando a árbore está viva é moi habitual que exista incluso máis cantidade de auga que de madeira seca. Na combustión, a madeira ao quentarse vai evacuando a auga desde o interior cara a superficie exterior, e desaparece evaporada polo efecto da temperatura xerada na combustión. Desta forma, se a madeira está moi húmida, é necesaria unha maior cantidade de enerxía para evaporar a auga, dando lugar a unha combustión pobre. Por isto é recomendable empregar sempre leña seca, cun contido de humidade de menos do 20%.

Etapa 2. Evaporación e combustión dos gases xerados na leña

Tras eliminar toda a auga que contén, a madeira comeza a vaporizarse nun fume que contén centos de gases orgánicos volátiles. Estes gases volátiles non deben liberarse sen ser queimados, xa que conteñen substancias insalubres e no caso de non ter unha boa combustión poden xerarse compostos como a creosota, partículas e gases que non se queiman. Estas substancias son insalubres tanto para o medio ambiente como para as persoas.

Para evitar unha mala combustión e a xeración de creosotas ou inqueimados no fume, é necesario manter unha temperatura alta de combustión e saída de fumes, e unha boa regulación da cantidade necesaria tanto de aire primario como secundario.

Etapa 3. Combustión do carbón da leña

Na fase final da combustión só quedan os restos carbonizados da madeira. Neste caso a combustión ten lugar principalmente na superficie do carbón e require unha menor achega de aire. Nesta fase pode reducirse a entrada de aire secundario na cámara de combustión.

5.4 O TIPO DE LEÑA: CONÍFERAS OU FRONDOSAS

Tradicionalmente, as madeiras de frondosas foron as máis solicitadas, destacando entre elas o carballo e o bidueiro. En calquera caso, todas as madeiras galegas poden usarse como leña, se ben un dos factores máis importantes na combustión é a densidade.



As madeiras de coníferas (Figura 2), como o piñeiro, son en xeral de menor densidade e arden máis rápido. Tamén adoitan ter un alto contido en extractos naturais, polo que acostuman crear creosota facilmente. Para evitalo é necesario dispor dunha maior cantidade de aire secundario para que os gases se queimen completamente.

Habitualmente, as madeiras de frondosas teñen unha maior densidade, polo que xeran máis enerxía por unidade de volume na cámara de combustión, e a súa combustión dura normalmente máis tempo. Neste tipo de madeiras, habitualmente, a necesidade de aire secundario é menor.



Figura 2. A leña de coníferas é menos densa e dá menos calor que a de frondosas, mais calquera delas é axeitada.

5.5 COMO ACTUAR PARA REDUCIR A EMISIÓN DE PARTÍCULAS?

Os factores que máis inflúen na emisión de partículas durante a combustión da leña, indican que a forma de realizar a combustión, a calidade e o tamaño da leña, son os factores máis importantes na emisión de partículas. Investigacións realizadas indican que:

- A humidade da leña é un factor moi importante nas emisións. Con altos ritmos de combustión e madeira húmida (>20%), as emisións poden incrementarse 10 veces. No caso de empregar baixos ritmos de combustión, as emisións poden incrementarse ata 30 veces (Figura 3).
- A pesar de que a calidade da leña sexa boa, cando o aporte de aire na combustión é baixo, o nivel de emisións pode ser alto.
- Para prender o lume recoméndase usar só troncos de leña seca (humidade <10%) e de tamaño pequeno ou briquetas de acendido, cun tempo de prendido de polo menos 10 minutos, en que non se debe reducir a achega de aire á combustión.
- No caso de empregar leña con alto contido de humidade, debe partirse en pezas de tamaño pequeno (2-5 cm).



Figura 3. Queimar leña mollada ten un maior custo e maior contaminación.

Ademais, os gases e fumes que xera a leña necesitan calor e aire para terminar de queimarse. Por iso, cando se prende o lume desde a parte superior, os gases xerados polos troncos que están debaixo introdúcense nas chamas e quéimanse. Se non hai chamas na parte superior da leña, os gases sairán pola cheminea sen estar completamente queimados, formando partículas.

5.6 TECNOLOXÍAS EFICIENTES DE COMBUSTIÓN DE LEÑA

Durante moitos anos, a forma de combustión da leña en Galiza foi mediante a utilización de fogares abertos como por exemplo a típica lareira das casas rurais. Con este sistema de combustión soamente se aproveitaba ao redor do 10-15% do calor xerado na combustión.

Nestes momentos existe tecnoloxía dispoñible para a combustión de forma eficiente, con baixas emisións, e a un custo accesible para a leña. Os fogares abertos son substituídos por modernas estufas de fogar pechado e con sistemas de control da combustión, ou con caldeiras de produción de auga quente para calefacción tamén de fogar pechado. Ademais, tamén toma cada vez máis forza a integración visual e cultural dos fogares na vivenda como un elemento moderno e de deseño.

No caso de estufas e chemineas de nova xeración tipo “insert”, para produción de aire quente, conséguense rendementos normalmente de entre o 60 e o 85%. Para conseguilo, ademais dun control de aire primario, estes equipos incorporan un sistema de entrada de aire secundario e unha cámara de poscombustión con fin de garantir o aproveitamento de todos os gases xerados na combustión.

No caso de caldeiras para produción de auga quente con fogar pechado, existen tres tecnoloxías diferenciadas (Figura 4), que pasamos a describir a continuación.

Caldeiras de combustión superior. A eficiencia destas caldeiras pode chegar ao 80%, e dispoñen dun sistema de control de aire primario e secundario en función da temperatura de traballo solicitada. En función das necesidades faise a carga do lote de madeira na cámara de combustión e procédese a prender o lume pola parte alta da pila. Tras finalizar o período de prendido, onde están abertas totalmente as entradas de aire primario e secundario, un sistema regula o tiro en función da temperatura da auga da caldeira.

Caldeiras de combustión inferior. Estas caldeiras usan o principio da combustión continuada, xa que só arde a parte inferior da leña. O rendimento é moi similar ás de combustión superior.

Caldeiras de tiro descendente. Son as caldeiras que teñen menores emisións. Son basicamente gasificadores de corrente descendente ou tiro invertido, cunha cámara de combustión secundaria para os gases de pirólise. O rendemento deste tipo de caldeiras pode chegar ao 90%.

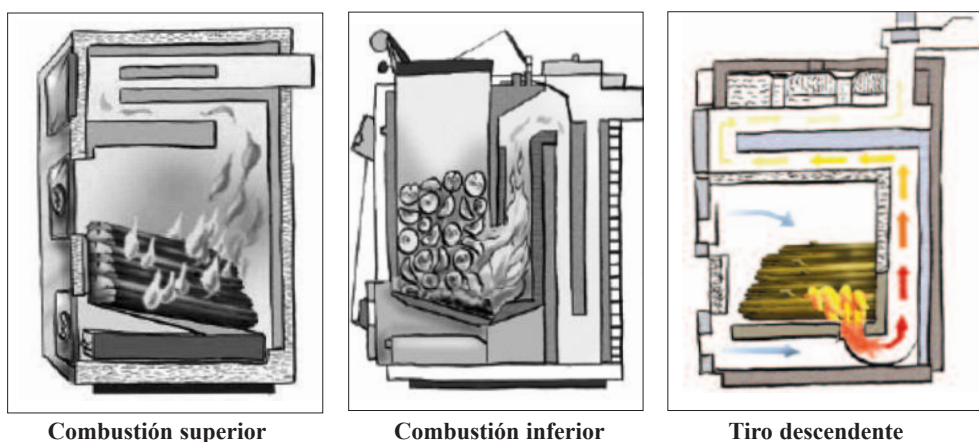


Figura 4. Tipos de caldeiras para producir auga quente.

En calquera caso, nos sistemas de combustión con leña, a instalación debe dispor dun sistema que evite que baixe a temperatura do fogar de combustión, co fin de evitar a produción de inqueimados e a xeración de creosotas e incrustacións na caldeira. Da mesma forma, a cheminea deberá dispor de sistemas de illamento que impidan a condensación dos fumes.

5.7 NORMATIVA DE CALIDADE PARA A LEÑA COMO BIOCMBUSTIBLE SÓLIDO

A existencia dunha normativa específica de calidade para a leña como biocombustible sólido é básica para o seu desenvolvemento no mercado. Desta forma podemos:

1. Garantir unha calidade homoxénea da leña dentro de todo o país ou rexión.
2. Dispor duns indicadores de calidade da leña cuns valores límites.
3. Acadar a seguridade legal para todos os axentes implicados neste sector.
4. Informar os consumidores das distintas calidades do produto.

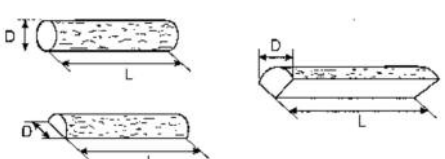
A normativa en Europa está desenvolvida no caso dos biocombustibles sólidos polo Comité Técnico 335, organizado dentro do CEN (Comité Europeo de Normalización). Inicialmente, o CEN pode publicar unha Especificación Técnica (TS), que son normas de adopción voluntaria e que teñen un período de vixencia de 3 anos. Finalmente, o CEN publica as normas EN, que son de adopción obrigatoria e que deben ser incorporadas aos sistemas nacionais de normalización.

No caso de España, existe actualmente unha gran parte de normas UNE experimentais (UNE-CEN TS), que durante os próximos anos deberán pasar a ser UNE-EN. A información da normativa actualizada pode consultarse en www.aenor.es.

As normas UNE experimentais máis relacionadas coa calidade da leña como biocombustible son a UNE-CEN/TS 14961:2007 EX e a UNE-CEN/TS 15234:2009 EX. A primeira ten como título “Biocombustibles sólidos. Especificacións e clases de combustibles”.

1. Biomasa leñosa	1.1. Biomasa forestal, de plantacións	1.1.1. Árbores completas	1.1.1.1 Frondosas
			1.1.1.2 Coníferas
			1.1.1.3 Especies de crecemento rápido
			1.1.1.4 Matogueira
			1.1.1.5 Preparados e mesturas
	1.1.2. Talo leñoso	1.1.2.1 Frondosas	
		1.1.2.2 Coníferas	
		1.1.2.3 Preparados e mesturas	
	1.1.3. Residuos de corta		
	1.1.4. Cepas		
1.1.5. Cortiza			

Cadro 1. Detalle da “táboa 1”, de clasificación en función da súa orixe e fonte, incluída na norma UNE-CEN/TS 14961:2007 EX.

“táboa 9”. especificacións das propiedades das achas		
	Táboa mostra	
	Orixe: de acordo coa “táboa 1”	Biomasa de madeira (1.1.)
	Forma comercializada	Achas
Normativas	Dimensións (mm)	
	Lonxitude (L) e espesor (D) (diámetro máximo dun só corte), en mm	
	P200-	L < 200 e D < 20, madeira para acendido
	P200	L = 200 ± 20 e 40 ≤ D ≤ 150
	P250	L = 250 ± 20 e 40 ≤ D ≤ 150
	P330	L = 3300 ± 20 e 40 ≤ D ≤ 160
	P500	L = 500 ± 40 e 60 ≤ D ≤ 250
	P1000	L = 1000 ± 50 e 60 ≤ D ≤ 350
	P1000+	L > 1000, obriga de sinalar os valores reais de L e D
	Humidade (% en masa cando se recibe)	
M20	≤ 20% Achas listas para o seu uso	
M30	≤ 30% Secado durante o almacenamento	
M40	≤ 40% Secado no monte	
M65	≤ 65% Fresca, despois do apeo no monte	
Madeira		
Sinalar se se emprega madeira de coníferas, de frondosas ou mestura de ambas as dúas		
Informativas	Densidade enerxética, EW (kWh/m ³ solto ou a granel)	Recoméndase sinalalo na venda ao por menor
	Volume sólido, a granel ou solto segundo se recibe (m ³)	Indícase que volume se utiliza na venda ao por menor (m ³ sólido, m ³ a granel, ou m ³ solto)
	Proporción en volume de achas partidas/fendidas	Non partidas (= principalmente madeira redonda) Partida: máis do 85% do volume está partido Mestura: mestura de madeira partida e redonda
	Superficie de corte	Sinálase se a superficie de corte das achas é lisa e regular*, ou se os extremos das achas son irregulares
	Mofo e caries	Deberíase sinalar se existe unha cantidade significativa de mofo e caries (máis do 10% en masa) En caso de dúbida, poderíase utilizar a densidade de partícula ou o poder calorífico inferior como indicador
*A utilización de motoserras considérase que produce unha superficie lisa e regular		

Cadro 2. Exemplo de especificacións da leña recollida na norma UNE-CEN/TS 14961:2007 EX. norma UNE-CEN/TS 14961:2007 EX.

Esta norma inclúe varias táboas de clasificación en función de varios aspectos como a orixe e fonte do biocombustible ou da leña e a forma de comercialización (Cadro 1). Ademais, recolle as especificacións das propiedades e da súa determinación para cada forma comercial de biocombustible (Cadro 2).

O obxectivo da segunda norma (UNE-CEN/TS 15234:2009 EX “Biocombustibles sólidos. Aseguramento da calidade do combustible”) é garantir a calidade e o cumprimento dos requisitos a través de toda a cadea de subministración, desde a materia prima ao consumidor final.

Inclúe as medidas que se deben tomar para o aseguramento da calidade, tales como as relativas á documentación obrigatoria (Figura 5), requisitos de produción, factores que inflúen no transporte, manipulación e almacenamento, declaración de calidade e etiquetado do biocombustible. Inclúe, así mesmo, as medidas que se deben tomar para o seu control, como son a trazabilidade, as especificacións das formas comerciais ou a determinación das propiedades.

DOCUMENTACIÓN OBRIGATORIA	
Área	Documentación obrigatoria
Trazabilidade da materia prima	Documentación da orixe e fonte
Requisitos de produción	Etapas do proceso CCP (Puntos de Control Críticos) Criterios e métodos para asegurar un control axeitados nos CCP Produtos non conformes
Transporte, manipulación e almacenamento despois da produción	Descrición do transporte, manipulación e almacenamento
Especificación final do biocombustible	Declaración/etiquetado de calidade do biocombustible (1 ano)

Figura 5. Documentación obrigatoria segundo norma UNE-CEN/TS 15234:2009.

A Declaración de Calidade da Leña como Biocombustible debe conter como mínimo a seguinte información (Figura 6):

- Datos do fabricante ou subministrador cos datos de contacto
- Orixe e fonte (UNE-CEN/TS 14961:2007 EX)
- País de orixe do biocombustible
- Propiedades normativas e informativas (UNE-CEN/TS 14961:2007 EX). Dimensións, humidade, tipo de madeira, densidade enerxética, volume sólido a granel ou solto...
- Sinatura da persoa responsable.

5.8 TECNOLOXÍAS DE APROVEITAMENTO E PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DA LEÑA

Aínda que na actualidade o negocio da leña non ten en Galiza a importancia que pode ter noutros países como Finlandia ou Noruega, existe un gran potencial forestal no noso país. Seguimos, en xeral, a empregar sistemas de produción e comercialización tradicionais. Porén, para incrementar o uso da leña como biocombustible, ademais das súas vantaxes medioambientais e sociais, é necesario que poida ser competitiva en prezo e calidade cos combustibles fósiles. Para iso é necesario crear modelos de negocio que permitan producir a leña de forma máis eficiente.



De forma xeral a cadea de produción e comercialización da leña segue os pasos indicados na Figura 7, e que pasamos a describir.

5.8.1 O aproveitamento forestal

Habitualmente en Galicia a leña comercial obtense do aproveitamento de árbores de frondosas, principalmente carballo, bidueiro e eucalipto. O sistema de aproveitamento pode ser manual ou mecanizado. No manual, o equipo que se emprega é unha motoserpa para a tala da árbore e o seu tronzado. No sistema mecanizado, utilízase un cabezal de corte instalado nunha grúa dun vehículo forestal para a corta e o tronzado da madeira. Na actualidade existen cabezais especialmente deseñados para a bioenerxía, chamados taladores multiárbore que permiten agrupar varias árbores. Incluso

Firewood	Producer	EAA Biofuels Box 1603 FI-40101 Jyväskylä, Finland Tel. +358 20 722 2550 E-mail: info@eaabiofuels.com
	Origin	1.1.3.1 Deciduous stemwood (birch)
	Traded form	Firewood (oven-ready)
	Country of origin, location	Keuruu, Finland
	Normative (EN 14961-1)	
	Dimensions (cm) Diameter (D) and length (L)	D12 (4 < D < 12 cm) L25 (25 cm ± 2 cm)
	Moisture (w-% as received)	M15 (≤ 15 w-%)
	Volume, (m³ loose)	5 m ³ loose
	Informative (EN 14961-1)	
	Energy density (kWh/loose m³)	E1000 (≈ 1000 kWh/loose m ³)
Proportion of split volume	All split	
The cut-off surface	Even and smooth	
Mould and decay	No mould and decay	

Figura 6. Exemplo de declaración de calidade de leña de subministración a granel, baseado en UNE-CEN/TS 14961-1.

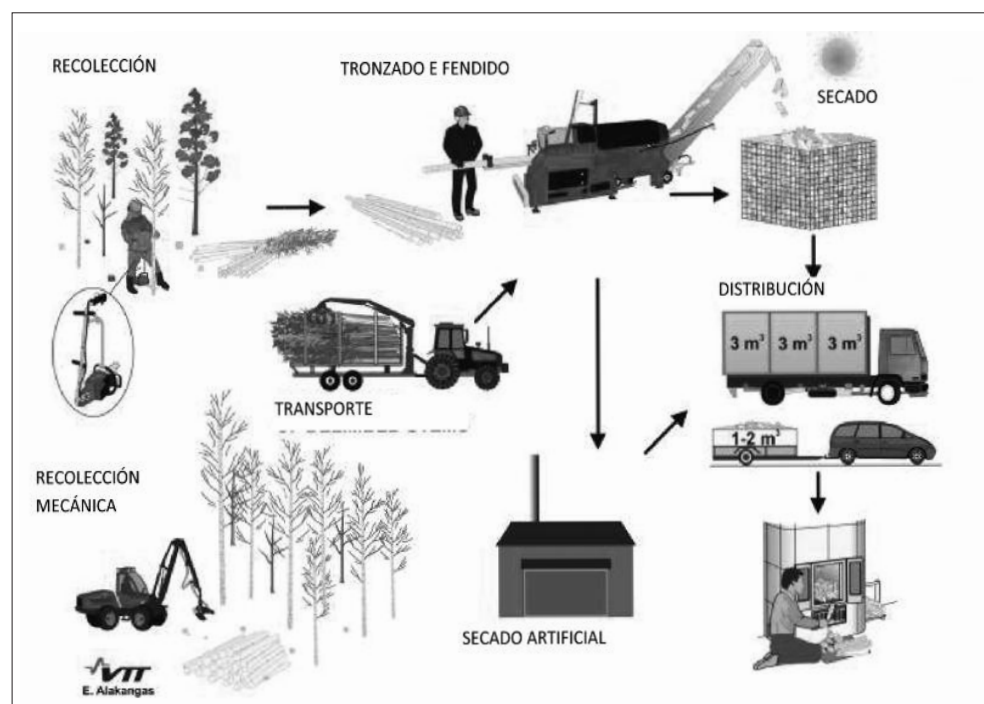


Figura 7. Cadea de produción e comercialización da leña. Fonte VTT (Technical Research Centre of Finland).

existen algúns cabezais que permiten facer de maneira conxunta a tala, o tronzado e o fendido, de forma que do monte xa sae a leña feita (Figura 8).



Figura 8. Equipos de tala, tronzado e fendido no monte.

5.8.2 Tronzado e fendido en planta

Na planta de procesado faise o tronzado da leña co rango de lonxitude solicitada, e procédese a fendela. Aínda que estas operacións se poden facer manualmente, existen máquinas que permiten automatizar todas as operacións en liña (Figura 9).

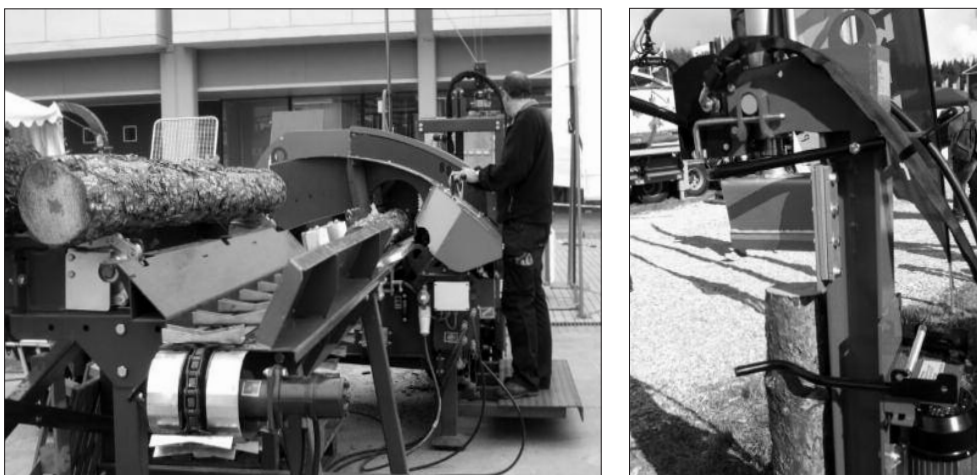


Figura 9. Maquinaria de tronzado en planta.

5.8.3 Secado

Esta fase é esencial para obter unha leña de calidade, xa que é un dos parámetros máis importantes recollido na normativa. O secado pode realizarse ao aire libre, principalmente aproveitando a primavera e o verán, ou facer un secado artificial (Figura 10).

No caso do secado artificial, a leña sitúase nun recinto onde se controla a ventilación de forma artificial. Como vantaxes, o secado artificial permite obter unha leña con maior homoxeneidade en humidade e cun maior control. Ademais, permite producir leña durante todo o ano e unha maior rapidez de subministración, segundo a solicitude dos clientes. Porén, o custo de operación e de amortización de equipos de secado pode ser importante.

5.8.4 Envasado e comercialización

Tradicionalmente, a leña comercializouse e transportouse sen ningún tipo de embalaxe, a granel. Desta forma, a leña transportábase nun tractor ou nun camiión e descárgase na vivenda da persoa usuaria. Esta ten que facer posteriormente o estibado da leña na vivenda.

Os cambios na poboación e os novos estilos de vida fixeron que, durante os últimos, anos se estea a innovar moito no sistema de envasado, co fin de facilitar o manexo da leña, tanto no transporte como no almacenamento por parte da persoa usuaria. Por isto, cada vez saen máis sistemas de envasado para a leña en tipo big-bag, gaiolas de madeira ou metálicas, paletas con caixa, rolos etc (Figura 11). Estes sistemas intentan facilitar o almacenamento e a estiba da leña.

Outro nicho de mercado onde se está a innovar máis é na venda ao por menor de pequenas cantidades, onde cada día máis se utilizan envases que facilitan o manexo por parte do cliente como poden ser atados, bolsas de rafia, caixa de cartón ...



Figura 10. Secado ao aire libre (esquerda) e secado artificial (dereita).



Figura 11. Algúns sistemas de envasado de leña.

.. DE COLECCIÓN!

ADEGA CADERNOS

1 - MINICENTRAIS HIDROELÉCTRICAS - ENERXÍA EÓLICA

2 - A ECONOMÍA E A ECOLOXÍA DO MEDIO MARIÑO

**3 - XESTIÓN DO LIXO: MUNHA ALTERNATIVA ECOLÓXICA AO PLANO DE
SOGAMA**

4 - AGROECOLOXÍA NA GALIZA

5 - TRANSPORTE E MEDIO AMBIENTE

6 - A COMPOSTAXE DE RESÍDUOS

7 - VACAS TOLAS E AGROECOLOXÍA NA GALIZA

8 - ECONOMÍA E MEDIO AMBIENTE

9 - PESCA SUSTENTÁBEL

10 - MEDIO AMBIENTE LITORAL

11 - AUGA E SUSTENTABILIDADE

12 - DEPURACIÓN DE AUGAS RESIDUAIS

13 - EDUCACIÓN AMBIENTAL EN GALIZA

14 - OS RÍOS GALEGOS (I): CALIDADE E BIODIVERSIDADE

15 - OS RÍOS GALEGOS (II): CALIDADE E BIODIVERSIDADE

16 - O CAMBIO CLIMÁTICO E GALIZA

17 - A XESTIÓN DO LIXO

18 - LODOS DE DEPURACIÓN

19 - INCENDIOS FORESTAIS: CAUSAS E SOLUCIÓNS

20 - BIOCMBUSTIBLES E BIOMASA FORESTAL (I)

21 - BIOCMBUSTIBLES E BIOMASA FORESTAL (II)



Foto: © distrito xemar



COLABORA CON ADEGA
FAITE SOCIO/A