

Comercialización de biocarbón (biochar) en México

Definición del contexto para un Programa de Investigación Multidisciplinario

Rodrigo Ibarrola, Benjamín Evar y David Reay
Universidad de Edimburgo
Julio 2013



Tabla de Contenido

| | |
|--|----|
| Resumen ejecutivo | 1 |
| 1. Breve descripción de biocarbón | 3 |
| 2. El caso de la comercialización del biocarbón | 9 |
| 3. Contexto institucional en México | 12 |
| 4. Integrando el biochar en México | 16 |
| 5. Hoja de ruta hacia la comercialización en México | 19 |
| 6. Resumen y recomendaciones | 22 |
| Referencias | 23 |

Lista de figuras:

- Figura 1.** Ejemplo de un sistema de pirólisis-biocarbón. *Pág 3.*
- Figura 2.** Objetivos principales de un sistema sostenible de biocarbón. *Pág 4.*
- Figura 3.** Diferentes escalas de tecnologías para producir biocarbón. *Pág 5.*
- Figura 4.** Resumen del ciclo de vida del sistema pirólisis-biocarbón. *Pág 7.*
- Figura 5.** Iniciativas de biocarbón en el mundo. *Pág 12.*
- Figura 6.** Costo marginal de reducción de emisiones por uso de biocarbón (en Libras/tCO₂e) según distintos tipos de escenario de materia prima (biomasa) en el Reino Unido. *Pág 10.*
- Figura 7.** Investigaciones previas, actividades de proyectos, y escenario potencial para futuras actividades de desarrollo de programas de investigación de biocarbón en México. *Pág 21.*

Lista de tablas:

- Tabla 1.** Ejemplos de recursos de biomasa para la producción de biocarbón. *Pág 4.*
- Tabla 2.** Promedio de rendimiento de producto a partir de diferentes procesos tecnológicos. *Pág 6.*
- Tabla 3.** Tipos predominantes de biomasa disponibles en México y cantidades estimadas para cada uno. *Pág 17.*

Caso de estudio:

Producción de azúcar. *Pág 16.*

List of abbreviations and acronyms:

| | |
|-----------------------|---|
| CH ₄ | Metano. |
| CO ₂ e | Dióxido de carbono equivalente. |
| GEI | Gases de efecto invernadero. |
| GtC | Gigatoneladas de carbono. |
| K | Potasio. |
| ACV | Análisis del ciclo de vida. |
| TMP | Tiempo medio de permanencia. |
| MtCO ₂ e/a | Megatoneladas de dióxido de carbono equivalente por año. |
| N | Nitrógeno. |
| N ₂ O | Óxido nitroso. |
| P | Fósforo. |
| PBS | Proceso de sistema pirólisis-biocarbón (sigla en inglés). |
| IDD | Investigación, desarrollo y despliegue. |

Resumen ejecutivo

La mitigación del cambio climático ha sido reconocida como una importante iniciativa política a largo plazo por varios gobiernos en el mundo. Por esta razón, muchas instituciones han comenzado a invertir en múltiples investigaciones e iniciativas de desarrollo que prometen una aplicación futura generalizada y a gran escala. Es así como el biocarbón (biochar) ha sido identificado como una opción para mitigar las emisiones de carbono que de otra manera serían emitidas a la atmósfera, tanto directamente por la estabilización a largo plazo del carbono orgánico, como indirectamente mediante el desplazamiento de las emisiones de combustibles fósiles.

El biocarbón es un material sólido que resulta del tratamiento de la materia orgánica (biomasa) en un ambiente bajo en oxígeno. Este proceso se conoce comúnmente como pirólisis. Cuando es procesado en estas condiciones, una alta fracción de carbono permanece estable en los subproductos carbonizados y solo se emite después de cientos o miles de años. Recientes investigaciones sugieren que el sólido carbonizado (biocarbón) es benéfico para la fertilidad del suelo en muchos contextos, e investigaciones recientes lo han considerado como un método alternativo para la agricultura sustentable.

Por último, las tecnologías de gasificación y pirólisis también producen líquidos y gases que pueden ser capturados para proveer calor y electricidad. La producción de biocarbón tiene el potencial de proveer una serie de beneficios complementarios ambientales, económicos y sociales.

Este reporte propone los pasos a seguir para iniciar la comercialización de biocarbón en México. El documento es el resultado de la culminación de un corto proyecto de investigación desarrollado entre diciembre de 2012 y mayo de 2013 por investigadores la Universidad de Edimburgo, Escocia.

El presente reporte se divide en seis secciones:

- 1.** Breve resumen del conocimiento científico sobre biocarbón, opciones tecnológicas, requerimientos en infraestructura, beneficios de su uso y actividades de investigación alrededor del mundo.
- 2.** Desarrollo del caso de la comercialización del biocarbón, considerando con mayor detalle los potenciales beneficios sociales y económicos.
- 3.** Cómo se inscribe el biocarbón en el marco institucional de las políticas y regulaciones del gobierno de México.
- 4.** Caso de estudio sobre cómo el biocarbón podría integrarse a las actividades industriales mexicanas.
- 5.** Presentación de un plan de trabajo que apoyaría la investigación, el desarrollo y el despliegue de biocarbón en México.
- 6.** Breve resumen y recomendaciones.

Aún se está en los inicios de la investigación en biocarbón y el desarrollo de actividades relacionadas, por lo que todavía existe mucha incertidumbre sobre la magnitud real de sus posibles beneficios a nivel mundial. Sin embargo, el desarrollo de biocarbón supone una ventaja objetiva dada la facilidad con la que este puede escalar en diversos escenarios económicos. Esto ubica al biocarbón en una categoría de actividades de mitigación que merecen mayor atención de los gobiernos interesados en atender, de manera simultánea, múltiples políticas públicas traslapadas a través de una aproximación tipo ensayo y error. Los autores del presente documento esperan que este objetivo sea claro al finalizar la lectura de este reporte.

Autores y colaboradores

Los autores de este informe son Rodrigo Ibarrola y Benjamín Evar, investigadores de la Universidad de Edimburgo en temas relacionados con la captura y almacenamiento de dióxido de carbono. En la traducción del inglés al español, se tuvo la colaboración de Rodrigo Céspedes Sotomayor, estudiante de Magister en Carbon Management de la misma institución.

Sobre el Centro de Investigación en biocarbón del Reino Unido (UKBRC por sus siglas en inglés). La Universidad de Edimburgo es líder en investigación en Escocia, y se encuentra ubicada en el puesto 20 de las universidades del mundo.

En el más reciente ejercicio de evaluación de investigación del Reino Unido, la Escuela de Ciencia e Ingeniería de la Universidad de Edimburgo continuó manteniendo un alto desempeño – 96% de la investigación fue calificada con 4 estrellas, lo que la posiciona como líder en el mundo en términos de originalidad, significancia y rigor. De igual forma, la Universidad es hogar del Centro de Investigación en Biocarbón del Reino Unido (UKBRC), a la fecha el centro más grande del país dedicado al estudio de biocarbón como un medio para la eliminación del carbono atmosférico y su secuestro a largo plazo.

En 2010, el UKBRC fue el pionero de un análisis exhaustivo de biocarbón para el gobierno del Reino Unido (Departamento Gubernamental para el Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales, y el Departamento de Energía y Cambio Climático, Defra y DECC por sus siglas en inglés respectivamente), que incluyó una evaluación de recursos de biomasa y la idoneidad de las diferentes opciones tecnológicas. El informe está disponible en la página web del UKBRC. Además, el Centro ha comunicado sus hallazgos para el desarrollo de políticas públicas e iniciativas de investigación a los más altos niveles, comunicando los resultados al Gobierno de Escocia, la Sociedad Real y la Sociedad Real de Edimburgo. Adicionalmente, el UKBRC tiene su propio laboratorio, el cual está en capacidad de producir biocarbón mediante la utilización de distintos tipos de biomasa en diferentes escalas. El centro está dedicado

a la generación de investigación destacada en diversas temáticas relacionadas con biocarbón, como la ciencia del suelo y las tecnologías de pirólisis, así como evaluaciones socioeconómicas.

Agradecimientos

Los recursos para esta investigación fueron otorgados por el Fondo de Transferencia de Iniciación del Conocimiento de la Universidad de Edimburgo (IKTF por sus siglas en inglés), así como por la Alianza de Escocia en Tecnología Energética, asociación de investigación en energía que busca promover las colaboraciones entre universidad y la industria en investigación, desarrollo y utilización.

Los autores agradecen a las siguientes instituciones mexicanas por contribuir con su tiempo y mostrar interés en el potencial de la aplicación de biocarbón en el contexto de ese país:

- Banco Mundial
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID)
- Oficina de Asuntos Exteriores y de la Commonwealth en México (FCO por sus siglas en inglés)
- Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO)
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)
- Red Mexicana de Bioenergía (REMBIO)
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- Sociedad Financiera Agropecuaria (SOFAGRO)

Agradecemos los comentarios de edición y contenido por parte del Dr. Saran Sohi de la Universidad de Edimburgo y Enrique Riegelhaupt de REMBIO.

Imagen de portada cortesía de ECOERA AB, Sweden.

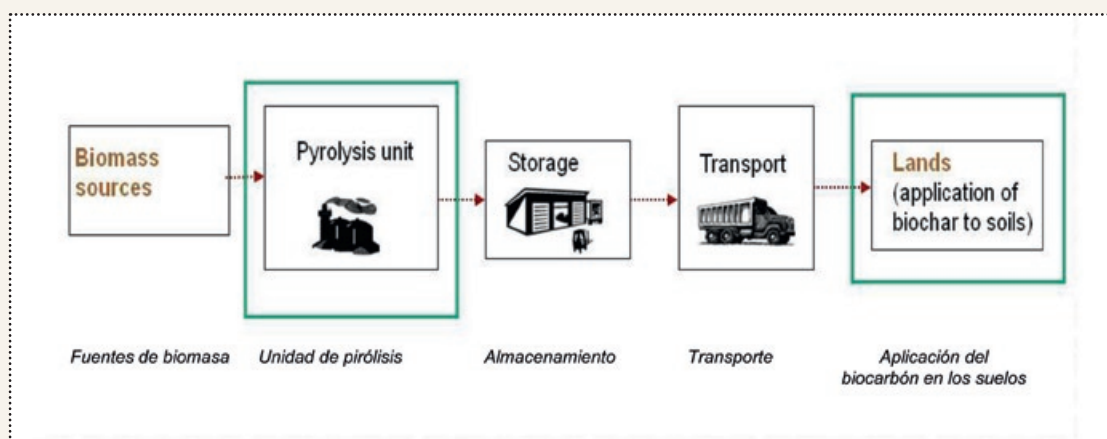
1. Breve descripción de biocarbón

¿Qué es biocarbón?

El biocarbón es un material sólido carbonoso poroso producido por la conversión termoquímica de materiales orgánicos en un ambiente empobrecido o carente de oxígeno, el cual tiene propiedades físico-químicas aptas para el almacenamiento seguro y a largo plazo de carbono en un medio natural y, potencialmente, la mejora de la fertilidad de los suelos. El biocarbón es producido a través de tecnologías de pirólisis (similar a la gasificación) en un proceso de sistema pirólisis-biocarbón (PBS, ver Figura 1). El PBS combina tecnología de pirólisis, opciones de transporte, distribución, infraestructura de almacenamiento y la eventual aplicación de biocarbón (por ejemplo en la mejora del suelo, Shackley & Sohi 2010).

¿Por qué el biocarbón es importante?

El biocarbón estabiliza el carbono en el material carbonizado, reduciendo de este modo las emisiones directas de carbono a la atmósfera. El biocarbón también puede funcionar como un potenciador de los suelos al retener nutrientes en estos. En algunos contextos, el biocarbón tiene el potencial de incrementar la fertilidad del suelo, mientras que su proceso de producción reduce los desechos de la agricultura y otras industrias y produce energía renovable. Vale la pena aclarar que en algunos sistemas de biocarbón, estos cuatro objetivos pueden alcanzarse de manera sostenible (ver Figura 2), mientras en otros se puede obtener la combinación de dos o más objetivos, pero no todos.



1. Ejemplo de un sistema de pirólisis-biocarbón (Shackley & Sohi, 2010).

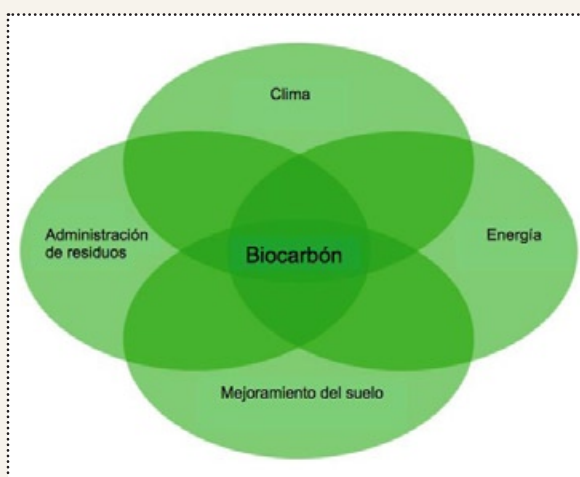


Figura 2. Objetivos principales de un sistema sostenible de biocarbón (Shackley S., Saran Sohi, 2010).

Opciones de producción de biocarbón

A través de un proceso térmico de carbonización, los materiales orgánicos pueden ser convertidos en biocarbón. Diversas técnicas de carbonización son posibles y varían en función del tiempo de exposición al calor y a la presión, dependiendo de una variedad de equipos y materias primas. Los recursos de biomasa virgen derivan tanto de plantas y árboles

como de residuos agrícolas o forestales, mientras que los recursos de biomasa no vírgenes incluyen bio-materiales que han sido sometidos a un procesamiento físico o químico. Estos incluyen desechos de madera o alimentos, así como lodos de depuración. La tabla 1 lista una variedad de ejemplos de recursos de biomasa de acuerdo a estas dos categorías.

| Recursos de biomasa virgen | Recursos de biomasa no virgen |
|---|---|
| Paja | Lodos de depuración/depuradora |
| Astillas o pelets de madera | Abono |
| Estiércol | Lodos de la producción de papel |
| Residuos de cultivos energéticos | Orujo (restos de la producción de whisky) |
| Residuos forestales | Desechos de madera de la industria de la construcción |
| Hierba de la especie miscanthus | Desechos alimenticios |
| Residuos de la agricultura (cáscara de arroz, residuos de maíz, residuos de café, etc.) | Bagazo de la producción de azúcar |

Tabla 1. Ejemplos de recursos de biomasa para la producción de biocarbón.

Descripción de la tecnología

Los procesos más comunes para la producción de biocarbón son pirólisis y gasificación, aunque hay otras opciones disponibles (como torrefacción). Cada opción genera una mezcla diferente de productos finales sólidos, líquidos y gaseosos, y tiene diversas ventajas, por lo que difieren de acuerdo a los objetivos de la aplicación. Los productos energéticos pueden ser recuperables para uso en otros lugares como en calefacción urbana o turbinas eléctricas, o pueden simplemente ser quemados y emitidos como calor. Las configuraciones de sistemas de biocarbón pueden, de tal forma, involucrar tecnologías adicionales que producen energía recuperable además del carbón sólido (solid char) en un rango de escalas de pequeñas unidades familiares, hornos medianos o plantas pequeñas, hasta plantas de bioenergía de tamaño industrial (ver Figura 3).

Los sistemas de pirólisis generalmente requieren equipos especializados para contener la biomasa que se va a hornear mientras se excluye el oxígeno del proceso. La cámara de reacción puede estar ventilada para permitir el escape del gas, conocido como “syngas” (gas de síntesis). De manera alternativa, parte del syngas puede ser redireccionado para calentar la cámara de reacción, reduciendo significativamente la adición de energía requerida para ejecutar el proceso (IBI, 2013).

Actualmente se aplican diferentes tipos de sistemas de conversión termoquímicos: pirólisis lenta, pirólisis rápida y gasificación. La cantidad de biocarbón y sus co-productos (syngas y aceites) originados por estos sistemas, se diferencian de acuerdo a la exposición de los factores previamente mencionados y listados en la Tabla 2. En general, la pirólisis rápida tiende a producir más aceites y líquidos, mientras la pirólisis lenta produce más syngas y biocarbón. Los sistemas de gasificación producen, por su parte, pequeñas cantidades de biocarbón y grandes cantidades de syngas.



Figura 3. Diferentes escalas de tecnologías para producir biocarbón (Hines Farm Blog 2013; Ondrej Masek, UKBRC, 2010).

| | Temperatura y duración | Sólido (biocarbón) | Líquido | Gas |
|------------------|------------------------|--------------------|--------------|----------|
| | | | (aceite bio) | (syngas) |
| Pirólisis lenta | ~500 °C, días | 35% | 30% | 35% |
| Pirólisis rápida | ~500 °C, seg. | 12% | 75% | 13% |
| Gasificación | >800 °C, horas | 10% | 5% | 85% |

Tabla 2. Promedio de rendimiento de producto a partir de diferentes procesos tecnológicos. Las cantidades exactas varían dependiendo de la escala, la materia prima y otros factores (Shackley & Sohi, 2010).

Estabilidad del carbono en el biocarbón

En la actualidad, en varios países del mundo, grandes cantidades de residuos de agricultura, basura biodegradable y biomasa forestal son quemadas o abandonadas para su descomposición. Estas prácticas liberan carbono y metano a la atmósfera. La producción de biocarbón y el empleo de estos sistemas de utilización difieren de estas prácticas y de la mayoría de los sistemas de generación de energía de biomasa, ya que la tecnología involucrada reduce la liberación de emisiones al almacenarlas en forma de carbono estable en el suelo y, por lo tanto, funciona como un depósito de carbono o un proceso carbono-negativo.

El carbono en el biocarbón es almacenado en una forma química altamente recalcitrante. Aunque poca investigación se ha publicado con relación a su estabilidad a largo plazo, estudios sugieren un tiempo medio de permanencia (TMP) del biochar en el suelo de al menos cien años, comparados contra 2 o 3 años de la materia orgánica en biomasa fresca o estiércol (Riegelhaupt E. 2013) y contra los 50 de la materia orgánica de los suelos (Shackley & Sohi, 2010). El TMP del carbono también es altamente dependiente de una diversidad de factores sociales y ambientales, como la disponibilidad de materia prima y las condiciones de su producción, las cuales afectan las propiedades físico-químicas tanto del biocarbón como del suelo receptor (Lehmann et al. 2009).

Un estudio reciente (Cross & Sohi, 2013) desarrolló una herramienta para evaluar el potencial de secuestro de carbono a largo

plazo del biocarbón, y con esta identificó que el carbono que es estable en varias muestras de biocarbón oscila entre 42-76% del total del carbono orgánico. Otros estudios han sugerido que la estabilidad puede alcanzar un 90% bajo ciertas condiciones (Shackley et al. 2011a). Esta estabilidad del carbono a largo plazo es la que hace del biocarbón una opción para la mitigación global del cambio climático.

Potencial de mitigación de los sistemas pirólisis-biocarbón

Recientes Análisis de Ciclo de Vida (ACV) han sido desarrollados para un PBS de pequeña, mediana y gran escala con base en diferentes tipos de tecnologías de materias primas de biomasa para evaluar el potencial de la mitigación de carbono y la producción de electricidad (Hammond et al. 2011; Ibarrola et al. 2012). Estos estudios han mostrado que los PBS podrían conseguir una mayor mitigación del carbono que otros sistemas de bioenergía. La mayor contribución a la mitigación del carbono proviene del carbono estabilizado (40-50%). Pero se puede obtener una mitigación adicional por los efectos menos específicos del incremento de los niveles de carbono orgánico en el suelo y la disminución de los requerimientos de fertilizantes como el nitrógeno, fósforo y potasio (entre un 25 a un 40%). Finalmente, el desplazamiento de tecnologías de generación de energía proveniente de combustibles fósiles (gas natural, petróleo) y que emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero, contribuye indirectamente a una mitigación adicional.

Esto muestra que, incluso cuando los efectos menos ciertos en los niveles de carbono orgánico del suelo no se contabilizan, los PBS podrían alcanzar aproximadamente 0.5 tCO₂e (emisiones de dióxido de carbono equivalente) de mitigación anual por la estabilidad incrementada del carbono en el biocarbón comparada con los suelos. Escenarios basados en estas suposiciones acerca de la mitigación directa o indirecta sugieren que el uso de PBS en Escocia podría mitigar entre 0.4-2.0 MtCO₂e/a, incrementando hasta 1.5-4.8 MtCO₂e/a en el 2050 (Ahmed et al. 2011). La Figura 4 resume las opciones de entrada, salida, potenciales de mitigación directa e indirecta y los impactos asociados a PBS.

Beneficios potenciales en los suelos

Además de su función en la retención a largo plazo del carbono, la adición de biocarbón a suelos tropicales ha demostrado la mejora del rendimiento de los cultivos, incluso de manera dramática en algunos casos. En suelos más fértiles, o en suelos que reciben altos niveles de aportes de nutrientes y que no están sujetos a estrés hídrico, el impacto correspondiente del biocarbón en el rendimiento agronómico aún no ha sido demostrado. Evidencia emergente de pruebas en suelos usando biocarbón en el Reino Unido y otros países templados indica un beneficio modesto de las pruebas limitadas que se han aplicado hasta ahora. Los hallazgos más importantes en investigación que muestran los beneficios potenciales para los suelos son:

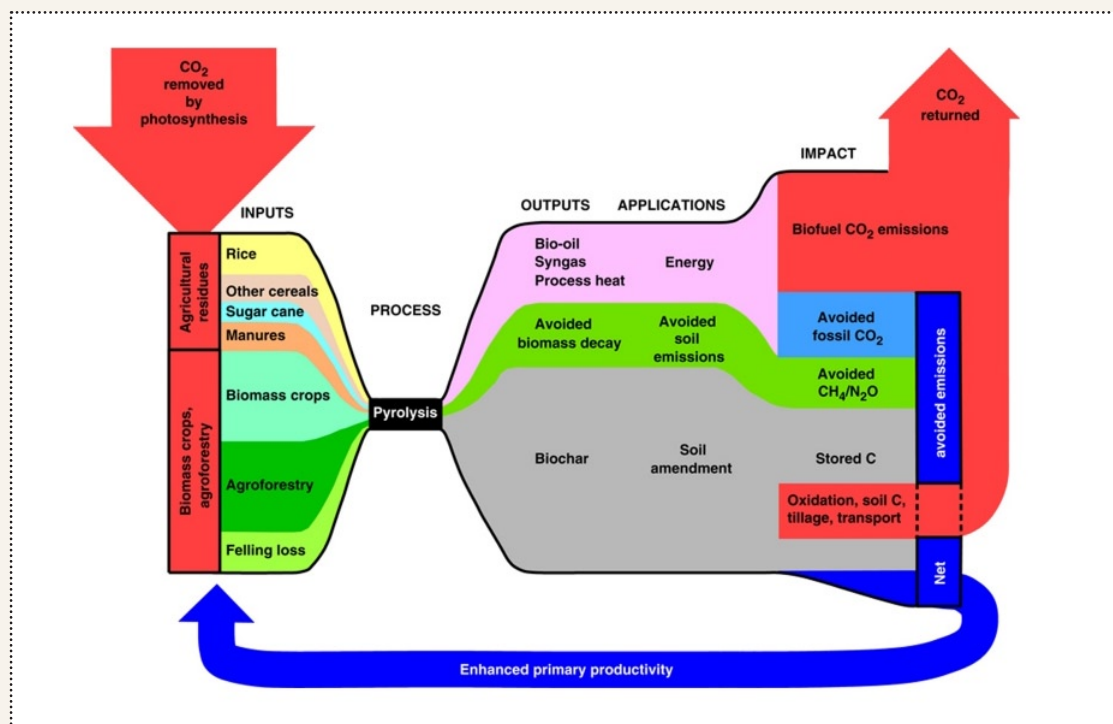


Figura 4. Resumen del ciclo de vida del sistema pirólisis-biocarbón. El CO₂ se remueve de la atmósfera por fotosíntesis. Residuos orgánicos, como los que quedan de la producción de la madera, la silvicultura, la agricultura, e incluso del lodo de depuración son procesados a través de pirólisis para la producción de biocarbón, aceites, gas de síntesis y calor para diversos procesos. El biocarbón es secuestrado en terrenos que garantizan el deterioro a largo plazo del carbono, en lugar de originar emisiones inmediatas a la atmósfera, y puede funcionar para el tratamiento del suelo. Así mismo, el proceso reduce las emisiones de otros GEI, como CH₄ y N₂O de los suelos y reduce la necesidad de fertilizantes. Mas aún, la generación de bioenergía puede desplazar la dependencia de combustibles fósiles que emiten carbono (Woolf et al. 2010).

- a) pH, retención de nutrientes minerales y carbono inestable: los constituyentes minerales de biocarbón (contenido de cenizas, incluyendo N, P, K y oligoelementos) y su pH típicamente alcalino, podrían proporcionar importantes beneficios agronómicos en muchos suelos, al menos en el corto y el mediano plazo, periodo durante el cual todas las fracciones inestables de carbono orgánico podrían ser también importantes
- b) Retención de agua: la adición de biocarbón en suelos de pobre calidad, arenosos o limosos ha demostrado potenciar el rendimiento de los cultivos. Esto probablemente resulta, en parte, a la retención mejorada del agua por materiales relativamente porosos.
- c) Impactos a largo plazo en la ecología del suelo: una combinación de propiedades físicas y químicas podría ser fundamentalmente alterada, como es el caso del cambio sostenido en los resultados de comunidades microbianas con patrones potencialmente más eficientes de utilización de carbono y el ciclo de nutrientes (Shackley et al. 2011a).

Investigación, desarrollo y despliegue (IDD) de biocarbón en el mundo

La IDD en biocarbón aumenta rápidamente, generando interés en el mundo (ver Figura 5) y es, cada vez con mayor frecuencia, percibida como una estrategia sostenible de gestión integrada de recursos, con la cual se atienden objetivos de políticas ambientales, sociales y económicas. Debido a la naturaleza específica de cada contexto de los beneficios, los hallazgos son altamente sensibles al clima, la calidad del suelo, y a los factores sociales y económicos. Esto dificulta la generalización de los hallazgos de un lugar del mundo al otro.

A la fecha, no hay investigaciones o iniciativas en desarrollo que se enfoquen en la aplicación del biocarbón en México, por tanto lo que resta de este reporte analiza los beneficios potenciales del despliegue de biocarbón en dicho país, considerando los contextos económico, político y social. Finalmente, la sección 5 presenta un escenario para investigación futura y desarrollo de actividades que proporcionará valoraciones más detalladas de potenciales beneficios derivados de la comercialización de este material.



Figura 5. Iniciativas de biocarbón en el mundo (IBI, 2013).

2. El caso de la comercialización del biocarbón

Potencial de mitigación en un contexto comercial

El biocarbón producido a partir de pirólisis y secuestrado en los suelos tiene el potencial de contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático al modificar prácticas relacionadas con el uso de suelos, silvicultura y agricultura. Se estima que modificando las prácticas agrícolas de tala y quema por técnicas de tala y carbón se podría compensar el 12% de las emisiones antropogénicas globales de CO₂e en este sector. A esto se puede añadir la mitigación de pirolizar otros tipos de residuos orgánicos.

Por otro lado, al manufacturar biocombustibles mediante el uso de subproductos de la pirólisis, desplazando de ese modo la generación de combustibles fósiles, se ha estimado que la mitigación teórica total puede alcanzar desde 5.5 hasta 9.5 GtC/año para 2100 (Lehmann et al. 2006) en el mundo. Sin embargo, la magnitud de estos números ha provocado controversia (Paul et al. 2009), debido en parte a los implícitos y significativos niveles de cambio de uso del suelo que debieran llevarse a cabo (Berndes et al. 2003). Estos cambios conllevarían un gran impacto en los sistemas sociales, por lo que se ha sugerido que una estimación global más realista sería de un orden máximo de 1 GtC/a para 2050 (Woolf et al. 2010). Esto supone que, correctamente implementado, el biocarbón tiene el potencial para funcionar como un esfuerzo o cuña de mitigación, junto con otras tecnologías y cambios sociales, para cumplir con la estabilización de los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera a los que se aspira para mediados de siglo (Pacala & Socolow, 2004).

Las emisiones de GEI debidas al cambio de uso de la tierra, agricultura y silvicultura en conjunto equivalen a casi el 19% del total de emisiones de México. Si bien este porcentaje es menor que el de emisiones de la industria energética (casi el 22%), estas se distribuyen

en un gran número de actividades (Semarnat & INECC, 2012) debido al alto porcentaje de población que trabaja en la pequeña agricultura. La distribución de muchas de estas actividades de uso del suelo de menor envergadura y las relativamente bajas barreras de entrada para implementar PBS, hacen de México una ubicación privilegiada para considerar la producción de biocarbón como una opción válida de mitigación.

El desarrollo acelerado de las tecnologías renovables comerciales en el mundo durante los últimos cuarenta años, le debe mucho a los mecanismos de apoyo gubernamentales que han subvencionado la producción de electricidad, haciendo obligatorio el mayor uso de fuentes limpias (a través de un porcentaje mínimo de fuentes renovables y una mezcla de combustibles). Esto ha posibilitado el desarrollo de infraestructuras de red que permiten el aumento de generación descentralizada. También se han hecho esfuerzos para promover la producción de electricidad, calor y combustibles basados en la biomasa. Estos esfuerzos bien podrían ser requeridos en la producción de biocarbón en el largo plazo.

Sin embargo, una economía con base en el biocarbón involucra un número de productos que puedan introducirse comercialmente al mercado. El mismo biocarbón puede ser utilizado como aditivo de fertilizantes para aumentar los rendimientos de la cosecha (ver sección 1) o puede añadirse a los alimentos para animales; los aceites pueden ser procesados para su uso como biocombustible; y, dependiendo de la ubicación y las necesidades de los usuarios, el calor puede ser usado para secar los residuos orgánicos (Hammond & Rödger, 2012).

Este potencial de beneficios y la escalabilidad de los sistemas sitúan al biocarbón en una posición ventajosa como una opción de mitigación de gases de efecto invernadero en comparación con

los mayores costos comparativos de las tecnologías emergentes. Ya se han hecho esfuerzos limitados para concretar los beneficios comerciales de biocarbón en México, como se describe en la sección 4. Sin embargo, la gama de opciones para comercializar el biocarbón integrándolo a prácticas existentes apenas ha sido evaluado a la fecha.

Costos y beneficios económicos

En la figura 6 se describe una curva de costos acumulados de mitigación del carbono (curva MACC por sus siglas en inglés) usando biocarbón en el Reino Unido.

La curva MACC grafica la posible reducción de emisiones (en tCO₂e) de diferentes opciones de uso de biomasa comparándolas contra su costo de aplicación (en este caso en libras esterlinas). Las opciones más baratas implican un costo neto negativo para la economía, es decir, un beneficio neto. El uso de carbono estabilizado está incluido en la evaluación de la reducción neta, así como el offset de emisiones derivado de la generación de bioelectricidad. Por tanto, la curva MACC en este caso es altamente específica para la red de energía del Reino Unido, para el tipo de material orgánico utilizado en la generación de bioenergía y el método de pirólisis o gasificación

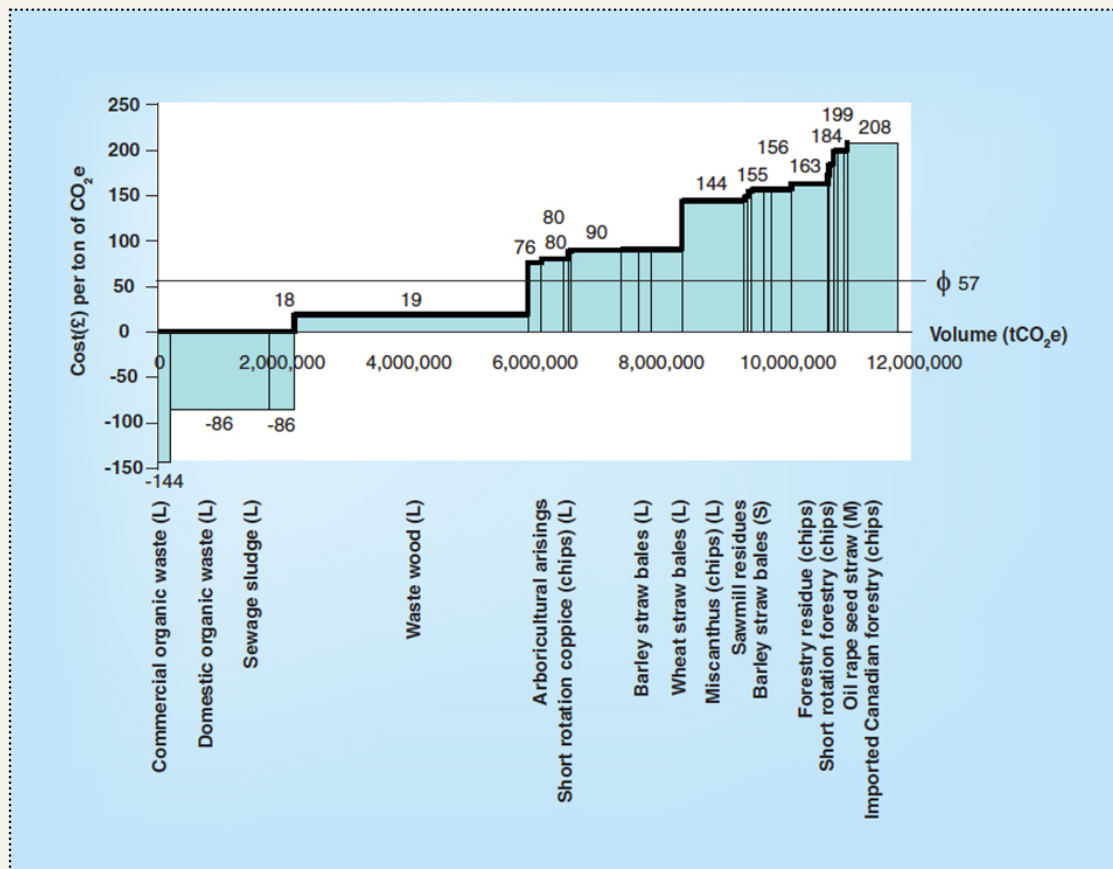


Figura 6: Costo marginal de reducción de emisiones por uso de biocarbón (en Libras/tCO₂e) según distintos tipos de escenario de materia prima (biomasa) en el Reino Unido. Es necesario tomar en cuenta que los valores no incluyen los efectos indirectos en la reducción CO₂e al aplicar biocarbón como aditivo en los suelos, como por ejemplo al reducir la dependencia en fertilizantes químicos.

L: gran escala; M: mediana escala; S: pequeña escala. El costo promedio de £57 se ha especificado en este escenario para indicar una alta cantidad de opciones relativamente asequibles disponibles (Shackley et al., 2011b).

utilizado. En el mismo escenario, 6 MtCO₂e pueden abatirse a un costo relativamente bajo (menos de 20 libras esterlinas por tCO₂e). La confianza en las opciones tecnológicas alternativas aumenta a partir de la producción a un alto costo. La idea básica de introducir opciones de bajo costo debe tenerse en cuenta a la hora de decidir la forma de integrar de manera óptima la producción de biocarbón en cualquier economía, y está supeditada a una evaluación detallada de las circunstancias específicas del contexto.

Un estudio llevado a cabo en el contexto del Reino Unido (Shackley et al. 2011b) concluye que el punto de equilibrio para la comercialización de biocarbón estaría situado entre £-148 a £389 (US\$-222 a US\$-584) para el biocarbón producido, entregado y depositado en los campos. Al igual que en la figura 6, los costos negativos son indicadores de una actividad que genera ingresos. Bajo las condiciones definidas, la fuente más rentable de biocarbón son los residuos (de madera, de alimentos, lodos de depuración de aguas residuales y residuos verdes), pero estos materiales enfrentan una compleja regulación, como normas ambientales y de estandarización, además de certificaciones periódicas. Otra fuente (BBF, 2012) indica que cuando se utilizan hornos tradicionales, el costo de producción puede variar de £20 a £300 por tonelada de biocarbón. Los enormes rangos estimados sugieren que los costos se reducen a medida que aumenta la producción de biocarbón y mejoran las tecnologías. Esto también podría ocurrir si se obtienen recursos por la comercialización de los subproductos del proceso de generación. La evaluación de futuras reducciones de costos subyace, por tanto, en el desarrollo de economías de escala.

Cabe mencionar que actualmente no existe en el contexto mexicano información detallada de los costos de biocarbón, pero una estimación detallada para sectores y tecnologías específicas se presenta en la sección 4.



3. Contexto institucional en México

La Ley General de Cambio Climático

Un análisis de la Semarnat muestra que las emisiones nacionales de GEI en México crecerán un 70% al 2050 en relación al año 2000 (UNCTAD, 2012). Como respuesta, fue promulgada en 2012, la Ley General de Cambio Climático, haciendo así de México, junto con el Reino Unido, las únicas dos jurisdicciones nacionales que tendrían una legislación de carácter mandatorio para la reducción de gases de efecto invernadero. El objetivo principal de la Ley es “promover la transición a una economía baja en emisiones de carbono, competitiva y sostenible”. De esta manera, se pretende garantizar que el crecimiento económico de México no se obstaculice por las normativas ambientales y que permita priorizar proyectos de I+D con el potencial de asistir a los resultados económicos en el largo plazo, mientras que se atenúan emisiones de GEI.

La Ley detalla medidas que promueven esta transición en las siguientes décadas. Las emisiones de gases de efecto invernadero deben reducirse en un 30% a 2020 y en un 50% a 2050 (con respecto al año 2000), apuntando a que las fuentes de energía limpias aporten con un 35% de toda la electricidad generada en 2024. La Ley establece también la obligación de reportar las emisiones de una serie de sectores para así incorporarlas en un registro público que cubrirá uso y generación de energía, transporte, agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos del suelo, residuos sólidos y procesos industriales. Además, se le otorga al gobierno la autoridad para establecer un sistema voluntario de comercio de emisiones que pueda ser vinculado posteriormente con los mercados internacionales del carbono (de Mauleón Medina & Saito, 2012).

Los objetivos principales y las disposiciones legales de la norma son pertinentes para considerar el papel de la I+D en biocarbón. Esto es apoyado, en primer lugar, por el mandato legal para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el cual

claramente respalda las actividades de mitigación enfocadas en la reducción de emisiones a través del secuestro o captura, en vez de una forma indirecta, como desplazar tecnologías de generación de energía intensivas en la producción del carbono. En segundo lugar, la Ley incluye el fomento de la investigación, desarrollo, difusión y la transferencia de tecnologías e innovaciones que pueden ayudar a reducir las emisiones de GEI. El biocarbón se convierte entonces en una opción tecnológica para la cual el conocimiento, establecido ya en gran medida en otros países, podría ser transferido a México y usado como apoyo para la actual experiencia existente en biomasa. En tercer lugar, la Ley incluye como objetivo el reducir la vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales a los efectos del cambio climático. Este objetivo está en línea con las propiedades nombradas anteriormente ya que existe evidencia de que la adición de biocarbón en los suelos aumenta la resistencia de los cultivos al retener los nutrientes en suelos agotados o en climas vulnerables.

Otras actividades establecidas bajo la Ley servirían como soporte al uso de biocarbón como alternativa de mitigación. Por ejemplo, el artículo 49 establece varios grupos de trabajo según las diferentes áreas de mitigación, donde el grupo VI para proyectos de reducción de emisiones y captura de GEI sería un foro importante para evaluar las futuras regulaciones relacionadas con biocarbón. Otra de las actividades de proyecto delega a la Comisión Nacional Forestal el diseño de estrategias y políticas para lograr una tasa de 0% de pérdida de carbono en los ecosistemas originales, utilizando prácticas de gestión forestal comunitaria y desarrollo sostenible –un objetivo que puede ser compatible con el uso selectivo de biocarbón junto con otras prácticas-. La Ley crea además una política nacional de mitigación que establece un marco de acción en dos fases para la introducción de las políticas de reducción de emisiones que se cree que tienen un

costo para la sociedad. En primer lugar, se establecen acciones voluntarias para los sectores regulados por la Ley y, en segundo lugar, objetivos específicos de reducción de emisiones. Este marco sería adecuado para las iniciativas REDD y del mismo modo podría ser un soporte a iniciativas de I+D en biocarbón. Por último, el Fondo para el Cambio Climático establecido por la Ley podría prestar apoyo financiero inicial a algunas de estas iniciativas.

Iniciativas de políticas relacionadas

Las acciones de IDD en Biocarbón pueden ser adaptadas a una serie de iniciativas de políticas paralelas. Esta sección trata sobre las actividades relacionadas con políticas para la mitigación del cambio climático, la producción de bioenergía y el desarrollo agrícola como punto de partida para la concepción de las actividades futuras y la introducción de emprendimientos gubernamentales.


La Ley General de Cambio Climático ha seguido otras acciones legislativas para promover la mitigación de GEI. México introdujo, en 2007, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), seguida por la primera etapa del Programa Especial de Cambio Climático (PECC), que se desarrolló durante el período 2009-2012. El PECC dio lugar a 105 objetivos y 294 actividades específicas de mitigación y adaptación que se llevaron a cabo en varios sectores, incluyendo el sector agrícola. A mediados de 2012 se estimaba que el PECC había alcanzado el 95% de sus objetivos a través de estas iniciativas, consiguiendo la reducción de más de 48 MtCO₂e anuales durante ese período (OCDE, 2013). Este éxito ha sido la base para futuros objetivos más ambiciosos, como la mitigación de 261 MtCO₂e anuales para 2020. Para lograr este propósito, en 2012 más de 150 actividades fueron identificadas por poseer un potencial de mitigación total de 130 MtCO₂e anuales para 2020, la mitad de la meta para ese año. Aún sería necesario desarrollar una serie de proyectos, en los que el uso de biocarbón representaría un esfuerzo para cumplir con el objetivo desde los sectores de agricultura y uso de la tierra, identificados como los de mayor potencial de mitigación (Semarnat & INECC, 2012).

Otro apoyo basado en políticas ambientales se puede encontrar en la Ley de Promoción y Desarrollo de Biocombustibles, promulgada en 2008, que contempla un potencial de alrededor de 15 MtCO₂e de mitigación anual para 2030. Los biocombustibles se producen preferentemente de residuos no comestibles procedentes de la producción agrícola, con el fin de evitar conflictos con la producción de alimentos. Por el momento, en México tales recursos no se utilizan en su totalidad, por lo que su adopción podría desarrollar sistemas de producción y distribución de energía. Evaluaciones coordinadas por la ONU analizaron el potencial de producción de biocombustibles a partir de residuos, y hasta el momento han concluido que:

- La bioelectricidad podría producir el 10.5% del consumo anual de electricidad
- El bioetanol puede sustituir el 6.3% de la demanda de gasolina
- El biodiesel puede sustituir el 23.2% de la demanda nacional de diésel
- El biometano podría satisfacer hasta el 14% de la demanda de gas natural

La promoción de los biocombustibles en México tiene, por lo tanto, la capacidad para estimular la creación de puestos de trabajo en el ámbito de la energía, desplazar la quema de hidrocarburos en la producción de electricidad, suministrar combustibles para el área del transporte, y reducir las emisiones de GEI. Para facilitar este progreso, se ha establecido un grupo de trabajo interministerial que tiene como objetivo considerar las opciones de respaldo a los biocombustibles, centrándose en primer lugar en las opciones de recolección y tratamiento de residuos, consideraciones que podrían incluir un componente de procesamiento mediante pirólisis.

Se han identificado dos áreas de incentivos para promover los objetivos relacionados con los biocombustibles. La primera incluye los programas de apoyo al desarrollo rural y la pesca, integrando la bioenergía como un componente en actividades existentes. La segunda evidencia cómo los fondos específicos podrían utilizarse para



diversificar riesgo a través de una vía de financiamiento cooperativo (UNCTAD, 2012).

Este tipo de incentivos, enfocados en la introducción gradual de actividades en ámbitos políticos existentes, podrían ser eficaces para identificar nichos para opciones emergentes como el biocarbón. México es el país de la OCDE con el mayor porcentaje de población en zonas rurales. El 22% de los mexicanos vive en zonas rurales, donde existen ocho millones de agricultores (UNCTAD, 2012), el 63% del empleo agrícola se asocia a granjas de menos de cinco hectáreas (Fox & Haight, 2010) y el 61% de la población rural vive en la pobreza (UNCTAD, 2012). Los recursos para las inversiones de capital de cualquier tipo son muy limitados en las comunidades de pequeños agricultores y podría ser vital que los esfuerzos por introducir biocarbón en el medio rural se vinculen a los mecanismos de apoyo existentes.

La Ley de Desarrollo Rural Sustentable fue promulgada en 2001 para ayudar a aumentar la calidad de vida en las comunidades agrícolas tomando en cuenta estas limitaciones financieras. Esto allanó el camino para la creación de un programa de desarrollo rural en el año 2007. El programa se centra en políticas sociales y de apoyo a la productividad, por ejemplo a través de medidas que apuntan a mejorar el rendimiento de los ciclos de vida económico y ambiental de los cultivos (UNCTAD, 2012). Al contar con fomento específico, estas medidas pueden aportar a la mitigación del cambio climático. Los sectores agrícola y forestal son importantes contribuyentes a las emisiones de GEI en México. Solo en 2002, estos generaron alrededor de 135 MtCO₂e, un 21% de las emisiones totales del país (PECC, 2009). Una serie de medidas se puede introducir como parte del programa de desarrollo rural para apoyar los medios de subsistencia de las comunidades agrícolas, mitigando emisiones paralelamente.

El Medec es un modelo de desarrollo con bajas emisiones de carbono del Banco Mundial (Johnson et al. 2010) que sugiere alternativas de mitigación de bajo costo. Una de ellas es el desplazamiento de entre el 70 y el 100% de la producción tradicional de carbón a hornos más eficientes para

el año 2030. La medida se estima como rentable, añadiendo una ganancia neta de USD \$20/tCO₂e mitigado. Sin embargo, por el momento no existen programas gubernamentales vigentes que apunten a introducir estos hornos, por lo que un amplio rango de fuentes de financiación nacionales e internacionales probablemente jugará un papel importante. Algunos análisis para el PECC han sugerido que ese tipo de hornos más eficientes pueden ser introducidos por medio de cooperativas, organizando su uso colectivamente con el fin de compartir costos y riesgos, en forma similar a otras actividades de desarrollo rural (IMCO, 2011). Estos esfuerzos podrían integrarse con la producción de biocarbón, separando parte del carbón producido (como las fracciones más finas, que no son comercializables como combustible) para su entierro permanente en los suelos, donde aumentarían los rendimientos de los cultivos. Marcos institucionales existentes promoverían, de esta manera, otro tipo de actividad de desarrollo rural que podría reducir las emisiones y estabilizar los rendimientos, mientras aumentan las posibilidades de reembolsar los créditos asignados.

El biocarbón ha encontrado apoyo en limitadas iniciativas legislativas en el mundo, en especial bajo la ya desaparecida Ley de Energía estadounidense, introducida en 2010. Esta incluye fondos para la investigación, el reconocimiento del uso del biocarbón como una actividad de mitigación inmediata y apoyo para su inclusión en un programa de compensación de carbono doméstico (biochar-international.org, 2010). Australia ha abierto las puertas a la aceptación del biocarbón como una actividad válida de mitigación bajo el Estándar Nacional de Carbon Offset. Sin embargo, el comercio de bonos de carbono originados mediante iniciativas de biocarbón no comenzará hasta no contar con una metodología –obstáculo similar a los que enfrenta bajo estándares de comercio de carbono voluntarios y obligatorios en cualquier otro lugar del mundo– (Cowie, 2012).

Tales iniciativas emergentes y los contextos jurídico y político existentes en México sugieren que, al menos en un comienzo,

la comercialización del biocarbón puede necesitar soporte como actividad nicho de I+D. Varios objetivos derivados de las políticas existentes son capaces de apoyar las actividades de biocarbón en zonas enfocadas en mitigación del cambio climático; estabilización y aumento del rendimiento de los suelos, y generación de energía. Sin embargo, puede ser necesario evaluar la comercialización de tecnologías de energía renovable de los programas focalizados de apoyo gubernamental en todo el mundo, (Neuhoff, 2007) o de cualquier otro programa de incubación (Jacobsson & Lauber, 2006) para dirigir eficazmente los primeros esfuerzos de I+D hasta lograr una reducción de costos. Específicamente, al considerar las experiencias con la introducción de fuentes de energía de base biológica en todo el mundo, se sugiere la necesidad de apoyo gubernamental. Un ejemplo es la industria de la caña de azúcar brasileña, que contó con el apoyo específico y sustancial del gobierno durante los primeros años de su programa de biocombustibles (Hira & Oliveira, 2009), apoyo que fue posteriormente eliminado al disminuir los costos con mayores escalas de producción (Goldemberg et al. 2004). Por otra parte, la estrategia de biocombustibles sueca introdujo exenciones tributarias para promover las ventas de etanol, así como subvenciones para los consumidores dispuestos a comprar vehículos de combustible flexible (Pacini & Silveira, 2010).

Adecuar subsidios similares en el contexto mexicano depende de la escala de las tecnologías de pirólisis que se pretenda introducir. Actualmente, existen opciones que pueden considerarse rentables y una adopción más amplia está obstaculizada por la incertidumbre científica y la falta de experiencia, más que por los costos. Algunos de estos parámetros son los fundamentos de las evaluaciones en la sección siguiente, en la que se considera cómo el biocarbón podría ayudar a reducir las emisiones en México dadas las restricciones de recursos.



4. Integrando el biochar en México

Descripción del contexto biomásico en México

En México existe un gran potencial de recursos biomásicos para producir biochar, así como biocombustibles líquidos, biocombustibles sólidos y biogás (Tabla 3) y se ha estimado que el potencial energético de las principales fuentes de bioenergía disponibles en el país equivale a 3,569 PJ/a, o el 42% del consumo de energía primaria en 2008. Sin embargo, la bioenergía en México actualmente abastece solo el 5% (432 PJ) del consumo de energía primaria. Se utilizan principalmente la leña, el bagazo de caña y el carbón vegetal, pero también existe experiencia en el área de biodigestores, captura de metano y generación de electricidad en rellenos sanitarios, así como en estufas eficientes de leña para la cocción en zonas rurales (REMBIO, 2011).

Además, se cuenta con iniciativas incipientes en biocombustibles líquidos, particularmente biodiesel, y con grupos de investigación en insumos y procesos para biocombustibles de primera y segunda generación.

Costos en el contexto mexicano

Los costos de producción de biochar en el contexto mexicano pueden variar mucho, dependiendo de la mano de obra, los materiales biomásicos que se utilicen, pero sobre todo, del tipo de tecnología disponible o necesaria para producir este material.

En contextos como el de la industria azucarera, en donde se podrían adaptar las tecnologías ya existentes, se estima que los costos podrían variar entre 5 y 60 USD por tonelada de biochar, dependiendo de la capacidad de producción de los ingenios y de la tecnología disponible para separar y recolectar el biochar.

Caso de estudio, producción de azúcar

Durante el proceso de producción de azúcar, usualmente se obtienen melaza (o miel de Caña) y bagazo como co-productos, y un residuo llamado cachaza, generado durante el proceso de clarificación del jugo de caña.

En México, los ingenios azucareros utilizan el bagazo obtenido como combustible para generar la mayor parte de la energía eléctrica que consumen durante el proceso de producción de azúcar, a través de esquemas de co-generación de electricidad y calor de proceso. Como resultado de la combustión del bagazo, se producen gases de combustión y cenizas.

Un estudio reciente llevado a cabo por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha explorado una posible solución para mitigar parte de las emisiones generadas en la agro-industria azucarera. .

Esta solución consiste en capturar parte del carbono contenido en el bagazo y los esquilmos de caña como biochar, para incorporarlo a los suelos cultivados con caña junto con la cachaza que habitualmente se utiliza como abono orgánico. La acción persigue dos objetivos: crear un nuevo almacén de carbono estable en el suelo y aumentar su capacidad para retener agua y nutrientes (Riegelhaupt, E. 2013).

De acuerdo a este estudio, para obtener el biochar no se necesitaría hacer una inversión significativa en capital tecnológico. Esto se lograría aumentando el porcentaje de partículas sólidas resultantes de la combustión incompleta de combustibles (bagazo) en las calderas de ingenios mediante ajustes de operación, y agregando precipitadores ciclónicos o lavadores de gases, para separar el biochar de los humos. En otros contextos donde se tendría que

| Typo y origen | Unidades | Cantidad | PJ/a | Porcentaje |
|--|----------|----------|--------------|-------------|
| Madera de manejo de bosques nativos | Mt/a | 101 | 1,515 | 42% |
| Madera de plantaciones de Eucalyptus | Mt/a | 26 | 345 | 10% |
| Residuos industriales de cultivos dedicados (bagazo y otros) | Mt/a | 29 | 431 | 12% |
| Residuos agrícolas de cosechas (RAC) | Mt/a | 13 | 227 | 6% |
| Residuos de cultivos alimenticios y forrajeros | Mt/a | 15 | 114 | 3% |
| Residuos agrícolas de cosechas de cultivos dedicados | Mt/ar | 8 | 86 | 2% |
| Residuos industriales de la industria forestal | MMt/a | 3 | 63 | 2% |
| Caña de azúcar para etanol | Mt/a | 206 | 338 | 9% |
| Sorgo grano para etanol | Mt/a | — | 202 | 6% |
| Aceite de palma aceitera para biodiesel | Mt/a | 13 | 121 | 3% |
| Jatropha curcas para biodiesel | Mt/a | 4 | 57 | 2% |
| Residuos del ganado para biogas | Mt/a | 35 | 35 | 1% |
| Residuos solidos municipales para biogas | Mt/a | — | 35 | 1% |
| Total | | | 3,569 | 100% |

Tabla 3. Tipos de biomasa disponibles en México para uso energético y cantidades estimadas para cada uno (Rembio 2011).


invertir en la tecnología de producción, los costos podrían variar dependiendo del sistema de producción que se quiera implementar. Por ejemplo, para sistemas sencillos de producción de biochar a pequeña escala (+/- 100 toneladas por año) como los hornos tipo Adam Retort, los costos podrían ser menores a 10 USD por tonelada, mientras que, para sistemas mas avanzados y de mayor capacidad de producción (+/- 400 toneladas por año), los costos se podrían incrementar hasta 100 USD por tonelada.

Cabe mencionar que estos últimos indicadores mencionados son estimaciones basadas en análisis tecno-económicos hechos para otros contextos internacionales.

Para comprender mas a fondo los costos de producción de biochar en México, se tendrían que llevar a cabo análisis costo-beneficio específicos para distintos contextos (industriales, agrícolas etc.), similares a los ya realizados para el caso de la industria azucarera.

Potencial de mitigación del biochar en Mexico

De acuerdo al estudio previamente mencionado, el potencial de mitigación derivado de la producción y uso del biochar en el sector azucarero es de 0.6 MtCO₂e/a para 2020, aumentando hasta 1.2 MtCO₂e/a en 2030. En este estudio se asume que el 10% del C contenido en la biomasa



quemada por las calderas se convierte en biochar en 2020, y que aumenta al 20% en 2030.

Adicionalmente, si se toma en cuenta el potencial biomásico mostrado en la Tabla 3 para otros sectores, la cantidad de CO₂e que se podría mitigar mediante la producción de biochar podría aumentar. Suponiendo que el 10% de dicho potencial estaría disponible para su transformación en biochar (suposición conservadora ya que se ignora actualmente cual sería la disposición de dichos recursos), y considerando que aproximadamente se produce 30% de biochar por tonelada de biomasa tratada, se estima que se podrían mitigar otros 10 MtCO₂e/a hasta el 2020.

Esta mitigación, sumada a la asociada con el sector azucarero, representaría alrededor del 5% de del objetivo del PECC (261 MtCO₂e/a) planteado para el año 2020.

5. Hoja de ruta hacia la comercialización en México

El biocarbón es un material complejo y multifuncional que se apoya en una amplia base de conocimientos para evaluar su producción, propiedades, impactos, interacciones, costos y, finalmente, una serie de beneficios. Sin esta diversidad de perspectivas aplicadas en contextos específicos, como geográficos, sociales y económicos, es difícil evaluar con precisión la magnitud de tales beneficios. Por lo tanto, se propone que México establezca un programa de investigación integrado que se enfoque en las cuestiones que se detallan a continuación.

Producción piloto, instalaciones de producción

Para producir biocarbón como producto, una gama de tecnologías puede ser empleada: no solamente pirólisis lenta y rápida, sino también pirólisis inducida por microondas, carbonización hidrotermal, torrefacción y gasificación. Una aproximación estratégica para producir, analizar y comparar muestras de biocarbón de estas diversas tecnologías, en condiciones definidas y reproducibles, mejoraría la base de evidencias asociadas con las propiedades de biocarbón producido bajo múltiples condiciones. También serviría como un primer paso en la evaluación de las características de diferentes muestras de biocarbón bajo específicas características del suelo.

Temas claves de investigación para abordar:

- Recetas para producir biocarbón con propiedades y funciones específicas.
- Adquisición de conocimientos tecnológicos para producir biocarbón con propiedades definidas para el contexto mexicano (ej. pH, N, K, P, contenido de humedad y retención de agua), tras el análisis de las condiciones de producción.

- Entendimiento del balance de carbono y del balance energético de las tecnologías alternativas de producción de biocarbón.
- Mejor comprensión de los componentes lábiles y estables del biocarbón y de los factores que influyen en la estabilidad del carbono en el material.

Evaluación del impacto de biocarbón en los suelos

Si el biocarbón se convierte en una propuesta comercial extendida en México, sería necesario establecer un conocimiento robusto y predictivo de los impactos en diferentes suelos y contextos agronómicos, tal y como el uso de fertilizantes y pesticidas químicos. El mercado surgirá solo hasta que los usuarios potenciales confíen en los beneficios positivos y rentables de la aplicación del biocarbón. Sin embargo, si el biocarbón se introduce únicamente como un mecanismo de mitigación del cambio climático, la cuestión clave será la estabilidad a largo plazo del carbono.

Temas claves de investigación para abordar:

- Efectos del biocarbón en el corto y largo plazo sobre la fertilidad y eficiencia de uso del agua en contextos específicos del suelo mexicano.
- Desarrollo de modificaciones al equipo agrícola existente para lograr vías efectivas y eficientes de almacenamiento y aplicación de biocarbón en escenarios agrícolas realistas.
- Experimentos de campo y pruebas con diversas rotaciones y sistemas (cultivos, horticultura y pastizales), incluidas las materias primas derivadas de diferentes tipos de biomasa (como los residuos).



- Comparación de los retornos del uso de biocarbón con base en la gestión de los suelos comparados con la rentabilidad establecida para el uso de otros aditivos o enmiendas orgánicas.
- Evaluación del biocarbón como vehículo de microorganismos benéficos con el fin de determinar los efectos sobre la ecología del suelo.
- Evaluación del uso de la tierra para la implementación del biocarbón –cómo el biocarbón podría influir en la ventaja competitiva de los diferentes cultivos y los efectos en cadena sobre las decisiones de uso del suelo, la oferta y la demanda–.
- Elaboración de estrategias para el uso sustentable de biomasa para la producción de biocarbón con base en estándares nacionales e internacionales de sostenibilidad de biomasa.

Aspectos amplios en la sostenibilidad de biocarbón

Los temas de investigación descritos anteriormente deben ser entendidos como elementos clave de un programa para evaluar los impactos del biocarbón como un sistema social y económico. La escalabilidad de los sistemas técnicos, la posibilidad de un rango de productos económicos a ser implementados, los diversos contextos espacio-temporales y socioeconómicos disponibles, todos estos aspectos llevan a pensar el desarrollo del biocarbón no solo como un sistema técnico, sino como un sistema sociotécnico. Tal planteamiento presenta una serie de temas de investigación que se centran en diferentes aspectos del desarrollo sostenible.

Temas claves de investigación para abordar:

- ACV de los sistemas pirólisis-biocarbón para recolectar información a través de toda la cadena de suministro (de materia prima al campo) con el fin de comprender el potencial de mitigación del biocarbón en México.
- Modelo de costos tecnoeconómico con una representación de los procesos clave y las etapas, incluyendo producción, distribución, almacenamiento e implementación.
- Con los mejores datos disponibles, comparar la manera más efectiva de uso y manejo de los recursos de biomasa para la producción de biocarbón y su disponibilidad en diferentes industrias (como por ejemplo generación de bioenergía, gestión de residuos, sistemas agroalimentarios, etc.).

Pasos a seguir

La Figura 7 ilustra actividades anteriores llevadas a cabo en este proyecto de investigación y las posibles medidas futuras para establecer un programa de investigación y desarrollo que apoye el despliegue comercial de opciones de biocarbón en México. Estas actividades apoyarán una mayor integración en la sociedad mexicana, abordando los principales temas señalados anteriormente. El objetivo es formar una base de conocimiento que pueda ser aprovechada en la promoción de beneficios económicos, sociales y ambientales más amplios asociados al biocarbón.

Vale la pena notar que un objetivo principal de este proyecto ha sido el de establecer una red de transferencia de conocimiento en biocarbón entre el Reino Unido y México. De aquí en adelante, la Universidad de Edimburgo, en colaboración con la Fundación Británica de Biocarbón, buscará el establecimiento de actividades de investigación junto con las organizaciones socias mexicanas. Estas tareas incluirán una amplia serie de temáticas, como se listaron en los temas claves señalados anteriormente. En última instancia, estas actividades crearán un apoyo analítico detallado para el desarrollo comercial de biocarbón bajo una variedad de escenarios y supuestos.



Figura 7. Investigaciones previas, actividades de proyectos y escenario potencial para futuras actividades que podrían soportar el desarrollo de investigaciones y de un programa para biocarbón en México.

6. Resumen y recomendaciones


Este reporte ha discutido las perspectivas y opciones para el desarrollo de biocarbón como una opción de escala comercial en México, enfatizando en los muchos efectos potencialmente beneficiosos de su uso. Para evaluar el potencial de biocarbón como un mecanismo de mitigación de carbono y lograr estos objetivos en un plazo razonable, es necesario llevar a cabo una serie de actividades en el futuro próximo. Estas pueden ser abordadas a través de un amplio programa de investigación para evaluar cómo el biocarbón podría funcionar bajo una serie de supuestos, en entornos geográficos y sectoriales diferentes.

Con base en esta aproximación, se recomienda que las siguientes actividades sean desarrolladas en el futuro cercano:

- Las evaluaciones del ciclo de vida son críticas para valorar los posibles efectos benéficos del biocarbón producido por diferentes tecnologías, tanto como una opción de mitigación, como potenciador en distintos tipos de suelos.
- Tales efectos deben ser considerados en múltiples entornos sociales y de recursos, como por ejemplo agricultura en pequeña escala e instalaciones industriales a gran escala. Será importante controlar el rango de parámetros en estudios que tengan como objetivo evaluar costos y beneficios económicos.
- Entender el rango de beneficios y retos al introducir y escalar la producción del biocarbón en diferentes escenarios, lo cual dependerá de evaluaciones detalladas, exhaustivas y simultáneas de la ciencia del suelo, las opciones tecnológicas y los factores socioeconómicos.
- Una agenda clara para apoyar y regular el biocarbón debe desarrollarse dentro de los marcos institucionales como la Ley General del Cambio Climático y las políticas bioenergéticas.
- Gran parte de este trabajo se habilitará mediante un programa específico de investigación de biocarbón, posiblemente a ser introducido en etapas sucesivas. Al evaluar el uso en contextos particulares, es importante evitar recomendaciones basadas en conclusiones demasiado generalizadas.

Referencias

- Ahmed, S.J., Hammond J., Rodrigo I.E., Shackley S.J. and Haszeldine R.S. (2011). The potential role of biochar in combating climate change in Scotland: an analysis of feedstocks, life cycle assessment and spatial dimensions. *Journal of Environmental Planning and Management*,55(4).
- BBF (2012). British Biochar Foundation. Available at: <http://www.britishbiocharfoundation.org>.
- Berndes, G., M. Hoogwijk and R. van den Broek (2003). The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass & Bioenergy*,25: 1–28.
- Cowie, Annette (2012). Bright Prospects for Biochar Offsets in Australia. International Biochar Initiative. Available at: http://www.biochar-international.org/biochar_offsets_Australia.
- Cross and Sohi (2013). A method for screening the relative long-term stability of biochar. *GCB Bioenergy*,5: 215-220.
- de Mauleón Medina, Claudia Cecile and Yolanda Saito (2012). A Legal Working Brief on the New General Law of Climate Change In Mexico. IDLO: Rome, Italy.
- Fox, Jonathan and Libby Haight (2010). Subsidizing Inequality: Mexican Corn Policy Since NAFTA. In: *Fox, Jonathan and Libby Haight (Eds.). Mexican Agricultural Policy: Multiple Goals and Conflicting Interests. Woodrow Wilson International Centre for Scholars, University of California: Santa Cruz, CA.*
- Goldemberg, J., Suani Teixeira Coelho and Patricia Guardabassi (2008). The sustainability of ethanol production from sugarcane. *Energy Policy*,36(6): 2086-2097.
- Hammond, Jim and Jan-Markus Rödger (2012). Biochar: climate saving soils – Newsletter 1. Interreg IVB North Sea Region Programme.
- Hammond, J., Shackley, S., Sohi, S., Brownsort, P. (2011). Prospective lifecycle carbon abatement for pyrolysis biochar systems in the UK. *Energy Policy*,39: 2646–2655.
- Hines Farm Blog (2013). Flow Farm. Available at: <http://hines.blogspot.co.uk/2010/04/bio-char-flow-farm-bio-char.html>.
- Hira, A. and De Oliveira, L. G. (2009). No substitute for oil? How Brazil developed its ethanol industry. *Energy Policy*, 37(6): 2450-2456.
- Ibarrola, R., Shackley, S., Hammond, J (2012). Pyrolysis biochar systems for recovering biodegradable materials: A life cycle carbon assessment. *Waste management*, 32: 859-868.
- IBI (International Biochar Initiative) (2013). International Biochar Initiative. Available at: <http://www.biochar-international.org>.
- IBI (International Biochar Initiative) (2010). American Power Act Includes Support for Biochar. International Biochar Initiative. Available at: <http://www.biochar-international.org/policy/unitedstates#apa>.
- Jacobsson, S., and Lauber, V. (2006). The politics and policy of energy system transformation—explaining the German diffusion of renewable energy technology. *Energy policy*, 34(3): 256-276.
- Johnson et al. (2010). Low Carbon Development for Mexico. The World Bank: Washington D.C.
- Lehmann, Johannes, John Gaunt and Marco Rondon (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11: 403–427.
- Neuhoff, K. (2007). Large-scale deployment of renewables. In: *Helm, D. (Ed.). The New Energy Paradigm (288-319). Oxford University Press: Oxford, UK.*

- 
- OECD (2012). OECD Environmental Performance Reviews: Mexico 2013. Chapter 4: Climate Change. Table 4.1 Special Climate Change Programme (PECC): Main mitigation measures to 2012 and achievements. Available at: http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/environment/oecd-environmental-performance-reviews-mexico-2013/special-climate-change-programme-pecc-main-mitigation-measures-to-2012-and-achievements_9789264180109-table19-en.
- Pacala, S. and R. Socolow (2004). Stabilization wedges: solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. *Science*, 305(5686): 968-972.
- Pacini, H. and Silveira, S. (2010). Ethanol or gasoline? Consumer choice in the face of different fuel pricing systems in Brazil and Sweden. *Biofuels*, 1(5): 685-695.
- Paul, H., A. Ernsting, S. Semino, S. Gura, and A. Lorch (2009). Agriculture and Climate Change: Real Problems, False Solutions. *EcoNexus*: Oxford, UK.
- REMBIO (2011). La bioenergía en México, situación actual y perspectivas.
- Riegelhaupt, E. (2013) personal communication.
- SEMARNAT and INECC (2012). Mexico's Fifth National Communication to the United Nations on Climate Change.
- SEMARNAT (2009). Special Climate Change Program, 2009-2012 Mexico. Executive Summary.
- Shackley, S., Carter, Sims, Sohi (2011a). Expert perceptions of biochar as a carbon abatement option. *Energy and Environment*, 22(3).
- Shackley, Simon, Jim Hammond, John Gaunt and Rodrigo Ibarrola (2011b). The feasibility and costs of biochar deployment in the UK. *Carbon Management*, 2(3): 335-356.
- Shackley S., Saran Sohi (2010). An assessment of the benefits and issues associated with the application of biochar to soil. HM Government: UK.
- UNCTAD (2012). Mexico's Agriculture Development: Perspectives and Outlook.
- Woolf, D., J.E. Amonette, F.A. Street-Perrott, J. Lehmann and S. Joseph (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, 1: 56.

Contactos

Autores:



Rodrigo Ibarrola:
ibas79@hotmail.com



Benjamin Evar:
ben.evar@ed.ac.uk

Diseño Gráfico:



Jonathan Stevens
jonathan@starbit.co.uk

Este proyecto fue hecho con ayuda de las siguientes organizaciones:



BRITISH
BIOCHAR
FOUNDATION



energy
technology
partnership