

Micro-gasificación:

Cocinar con gas procedente de la biomasa sólida y seca

Una introducción al concepto de las tecnologías para combustión de gas-madera y sus aplicaciones para cocinar



Título original: Micro-Gasification: Cooking with gas from biomass

1^{era} edición, Enero 2011, Autor: Christa Roth

Versión electrónica en inglés: <http://www.gtz.de/de/dokumente/giz2011-en-micro-gasification.pdf>

Publicado por

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

HERA – Poverty-oriented Basic Energy Services

(Abastecimiento básico de energía orientado a la pobreza)

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5, D - 65760 Eschborn, Alemania

T +49 6196 79 1361, F +49 6196 79 80 1361

E hera@giz.de , I www.gtz.de/hera



Versión en Castellano:

1^{era} edición en Junio 2011 por la Universidad Agrícola Panamericana Zamorano (Honduras), en colaboración con Christa Roth y GIZ-HERA.

Han contribuido a la traducción: El equipo del Centro de Estufas de la Universidad Agrícola Panamericana Zamorano (Honduras): Ing. Reyna Guzmán, Ing. Gracia Flores, Ing. Jorge Espinosa, Ing. Timothy Longwell.

María Luisa Blanco y Paniagua de Los Santos (España), el equipo de www.balata.es en la Sierra de Francia (España) y Christa Roth

Foto de la portada: Christa Roth

Foto que muestra la típica forma de la llama en un quemador gasificador de biomasa seca, en este caso hecho de una lata

Introducción

Micro-gasificadores: mucho más que 'otra estufa mejorada'

1) Las estufas tradicionales de leña están comúnmente asociadas con impactos negativos como

- Falta de comodidad: '**no es moderno**' como LPG, electricidad o fuegos a biogás.
- Emisiones de humo, monóxido de carbono y hollín (black carbon): '**no es saludable**'
- Degradación de los bosques: el abastecimiento de combustible '**no es sostenible**'.

2) Algunas 'estufas mejoradas' no cumplen con las normas de estufas limpias

En las últimas décadas innumerables esfuerzos han sido desplegados para mejorar estufas 'convencionales' de leña. Con cierto éxito se han desarrollado tecnologías que consumen menos combustible, son fáciles de usar y tienen una combustión algo más limpia. Con el nuevo énfasis en los impactos negativos para la salud asociados con las emisiones procedentes de combustibles sólidos de biomasa para cocinar, son necesarios mejores resultados en la reducción de emisiones si la biomasa sigue siendo un combustible aceptable y viable para los miles de millones que dependen de ella para satisfacer su demanda diaria de energía para cocinar.

3) "Re-inventar el fuego" en vez de continuar con el fuego de leña convencional

Los Micro-gasificadores (wood-gas-stoves) se acercan al concepto de generación de calor a base de madera y biomasa de una manera completamente diferente: Los **Gasificadores separan la generación de gases combustibles de su subsecuente combustión para crear calor para cocinar**. El paso de la combustión es esencialmente un "quemador de gas" que le da un 'salto cualitativo' en la reducción de emisiones mientras que permite el logro de los objetivos de comodidad, eficiencia y emisiones! Se trata de "quemadores de gas" que, a demanda, crean su propio suministro de gas a partir de biomasa seca que puede ser almacenada y transportada de forma segura. Las ventajas de gasificación han sido conocidas desde hace casi doscientos años, pero sólo recientemente adaptadas de forma fiable a escala lo suficientemente pequeña (micro) y adecuadas para estufas domésticas.

4) Estufas a 'gas-madera' tienen ciertas ventajas sobre otras Estufas mejoradas

- Combustión más limpia de biomasa (*menos hollín, carbón negro y polución de aire*).
- Más eficiente debido a una combustión más completa (*menos consumo de biomasa*).
- Utiliza una amplia variedad de residuos de biomasa de pequeño tamaño (*no hay necesidad de palos o troncos de madera o carbón vegetal*).
- Los combustibles de biomasa a menudo están al alcance inmediato de los usuarios (*con acceso asequible a conveniencia propia*), fácil de transportar y guardar después de la colección.
- La creación de gas a partir de biomasa seca se puede lograr a bajo costo directamente en la unidad del quemador (*portátil, sin necesidad de tuberías o quemador especial*).
- Comportamiento similar al biogás (*pero independiente de agua y bio-digestor*) con conveniencia similar a los gases fósiles.
- 'Gas' disponible a demanda (*todo lo contrario a la electricidad o el gas LPG que dependen de proveedores locales e importaciones, y a diferencia de la energía solar que es dependiente de buen tiempo y las horas del día*).
- Los Micro-gasificadores pirolíticos permiten la creación de carbón que puede ser utilizado con fines energéticos o para mejorar la productividad del suelo (biochar).

- Fácil encendido permite comenzar a cocinar en cuestión de pocos minutos (*en contraste con la lentitud de hacer arder el carbón vegetal*).

5) Los Micro-gasificadores pueden complementar otras estufas de leña

Dondequiera que la leña sea abundante y de bajo costo, las estufas mejoradas convencionales (por ejemplo, las estufas 'rocket') son opciones atractivas. En áreas donde el carbón y la leña se están convirtiendo en recursos escasos y/o mercancía cara, los micro-gasificadores ganarán más importancia como una opción para utilizar limpiamente combustibles alternativos de biomasa.

Objetivos de este manual

La Micro-gasificación para estufas domésticas es relativamente reciente. El principio fue inventado en 1985 y el primer micro-gasificador se comercializó en 2003. Recientemente muchas más personas están tomando conciencia del concepto y el potencial de la micro-gasificación. Nuevos desarrollos surgen casi cada día.

Este manual es acerca de los micro-gasificadores de biomasa que son lo suficientemente pequeños como para servir de unidad de combustión para generar calor en **estufas domésticas** y también de cierto modo en estufas para calefacción. El foco es en '**las estufas gasificadoras**', que es la combinación de una **unidad de combustión a base de micro-gasificación** y una **unidad de transferencia de calor** para la transferencia efectiva del calor generado en una olla, una plancha u otro dispositivo usado para preparar comida.

Este manual es una primera visión general sistemática de micro-gasificadores para proveer energía térmica para cocinar

- a) Para los planificadores de proyectos y concepcionistas:** para darles una visión general de las numerosas tecnologías y aplicaciones de micro-gasificación incluyendo los riesgos, beneficios y el potencial de los micro-gasificadores.
- b) Para implantadores de proyectos y practicantes:** proveer puntos de entrada para poder empezar haciendo pruebas, adaptando y diseminando los micro-gasificadores y el concepto de micro-gasificación.
- c) Para investigadores:** para darles información sobre asuntos sin resolver que puedan mejorar las aplicaciones de micro-gasificadores.
- d) Para los escépticos que temen los riesgos y dudan de los beneficios:** para darles algo para alimentar los pensamientos.

Este manual es una recopilación del estado actual de la micro-gasificación, que está todavía en su infancia sin embargo creciendo rápidamente.

Como "trabajo en progreso" se espera que inspire la creación de más experiencia en el terreno que pueda ayudar a difundir micro-gasificadores y contribuir a nuevos desarrollos interesantes. Es el deseo de los autores que cualquier lector se anime a proporcionar información para que los nuevos desarrollos se puedan incorporar en las actualizaciones periódicas de este manual.

El contenido se estructura en los siguientes módulos:

- 1) '**Wood-gas**' (Gas-madera) de biomasa seca y su aplicación para cocinar
- 2) Tecnologías y aplicaciones de micro-gasificación en estufas de cocina
- 3) Materias primas y combustibles para la micro-gasificación

En el Anexo hay un 'Bono' sobre 'bio-carbón' o Biochar: Cómo cocinar con gasificadores pirolíticos puede mitigar los efectos del cambio climático y mejorar la producción agrícola (por Kelpie Wilson de la Iniciativa Internacional Biochar)

Agradecimientos

Este manual fue iniciado y apoyado por Dr. Kees Marlis, la gerente del programa de *Abastecimiento básico de energía orientado a la pobreza* - HERA, implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Sin ella, y todo el equipo de HERA, este recurso sobre micro-gasificadores no existiría.

Todo texto menos el que se marcó como citación fue escrito por Christa Roth, con contribuciones y la revisión técnica por el Dr. Paul Anderson y Hugh McLaughlin, PhD, PE, que amablemente me han permitido citar sus textos sin marcar el respectivo pasaje como una cita. En ese sentido, ambos pueden ser vistos como co-autores del Módulo 1.

Kelpie Wilson (International Biochar Initiative) contribuyó al 'bono' sobre el biochar, que se encuentra en el anexo.

Para la asistencia en la revisión y dar sugerencias útiles para mejorar ese libro, debo las gracias al Dr. Agnes Klingshirn, Elmar Dimpl, André Seidel, Gregor Kraft (BauerPauer), Kevin Mortimer, Nathaniel Mulcahy (WorldStove), Crispin Pemberton-Piggott (Newdawnengineering) y Paal Wendelbo.

Dr. Christoph Messinger y Stefanie Röder me asistieron con sus habilidades de estructurar el contenido y hacer el texto legible. Ellos contribuyeron muchas horas para la tarea que de otro modo hubiera sido el trabajo de un editor.

Gracias también a Johanna Hartmann y Sabrina Cali para los esfuerzos en resolver algunos problemas de formato.

A menos que otra fuente lo indique, todas las fotos fueron tomadas por Christa Roth.

Christa Roth, Eschborn Enero 2011

Para la traducción al castellano:

Gracias se deben a María Luisa Blanco y Paniagua de Los Santos (España) para su ayuda con traducir una buena parte de modulo 1 y el equipo de la Universidad Zamorano en Honduras: Ing.Reyna Guzmán, Ing. Gracia Flores, Ing. Jorge Espinosa, Ing.Timothy Longwell.

Tenga en cuenta:

Este manual fue posible gracias a los contribuyentes de la República Federal de Alemania, administrado por la Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ).

Como tal, los derechos a esta información no están protegidos y se encuentra en el dominio público. **El texto de este manual puede ser citado, siempre y cuando se dé crédito a la fuente.**

Todos los enlaces se verificaron en el momento de la investigación de este manual. Tenga en cuenta que los vínculos podrían cambiar. Los autores no son responsables de enlaces inactivos o no actualizados.

Este manual no tiene la intención de favorecer a ninguna empresa o producto específico. Se dan ejemplos que demuestran la existencia y la fuente de una determinada tecnología como punto de referencia. Todos los enlaces a sitios web comerciales no sirven para enriquecer o beneficiar los autores y no son de ninguna manera exhaustivos. Este manual debe crecer y ser más completo en el futuro.

Así que, por favor, envíe todas las referencias y enlaces útiles que usted recomendaría para ser incluido en futuras actualizaciones del manual a christa-roth@foodandfuel.info.

Cualquier sugerencia para mejorar es bienvenida. Esta primera edición todavía se debe considerar como "trabajo en progreso". Las actualizaciones periódicas previstas van a incorporar los cambios en este dinámico campo de la micro-gasificación.

Lista de abreviaturas

°C	Grados Celsius
ARECOP	Asian Regional Cook stove Programme
BP	British Petroleum
BTU	British Thermal Units (Unidades térmicas británicas)
CHAB	Combined Heat And Biochar (Aplicaciones combinadas de calor y bio-carbono)
cm	centímetros
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
ETHOS	Engineers in Technical and Humanitarian Opportunities of Service
FA	Fan-assisted (tiro asistido por ventilación forzada)
FAO	United Nations Food and Agriculture Organisation
FOB	Free-on-board
g	Gramos
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (desde 1.1.2011), previamente Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Cooperación Alemana
h	Hora
H ₂ O	Agua
HERA	GIZ – Programa para el abastecimiento básico de energía orientado a la pobreza
HHV	Higher heating value (Valor superior de energía calorífica)
INR	Indian Rupees
kg	kilogramos
KvA	Kilovolt Ampere
kW	KiloWattios
LHV	Lower heating value (Valor inferior de energía calorífica)
LPG	Liquefied petroleum gas (Gas líquido de petróleo)
M ³	Metro cúbico
mg	miligramo
min	Minuto
MJ	Mega Joule
mm	milímetros
ND	Natural Draft (Tiro natural)
NiMH	Nickel Metal Hydrate
O ₂	Oxígeno
PCIA	Partnership for Clean Indoor Air (Alianza para el Aire Limpio)
PE	Professional Engineer (Ingeniero profesional)
PM	Particulate Matter (partículas, como hollín)
R&D	Research and Development (Investigación y Desarrollo)
TLUD	Top-lit up-draft (gasifier) Gasificador ‘Encendido arriba – tiro hacia arriba’
USA	United States of America (Estados Unidos de America)
USD	United States Dollars
WBT	Water boiling test (test de ebullición de agua)
ZAR	South African Rand (Rand de Africa del Sur)

Módulo 1

‘Gas-madera’ de biomasa seca Y su aplicación para cocinar



Contenido del prefijo:

Introducción	
Objetivos de este manual	
Agradecimientos	
Lista de abreviaturas	

Contenido de Módulo 1:

1.1 Gasificación de la biomasa sólida para cocinar.....	9
1.1.1 Pasos de la combustión de biomasa.....	10
1.1.2 El fuego abierto 'sin control'.....	12
1.1.3 Mejorar el control en un micro-gasificador.....	13
1.2 Aplicaciones prácticas de gasificadores de biomasa.....	15
1.3 Características distintivas de los gasificadores de biomasa.....	15
1.4 Micro-gasificadores adecuados para cocinar.....	16
1.4.1 Ventajas comparativas de micro-gasificadores para cocinar.....	16
1.4.2 Características de diseño para hacer los micro-gasificadores apropiados para cocción.....	17
1.5 Ejemplo: El gasificador TLUD (top-lit up-draft = Encendido desde arriba con corriente ascendente).....	18
1.6 Desempeño de los micro-gasificadores para cocción.....	20
1.6.1 Factores de desempeño influidos por el diseño o el usuario.....	20
1.6.2 Factores de rendimiento influidos por el ambiente.....	23
1.7 Resumen: Gasificación de biomasa en breve.....	25

Listado de Figuras

Figura 1: Cambios en el combustible sólido.....	9
Figura 2: Combustión del gas (o no, si las condiciones no son propicias).....	11
Figura 3: Generación de gas por separado de la combustión = 'gasificador'.....	13
Figura 4: Características básicas del diseño micro-gasificador TLUD.....	19
Figura 5: Comparación de emisiones de gasificadores TLUD con otras estufas.....	24

1.1 Gasificación de la biomasa sólida para cocinar

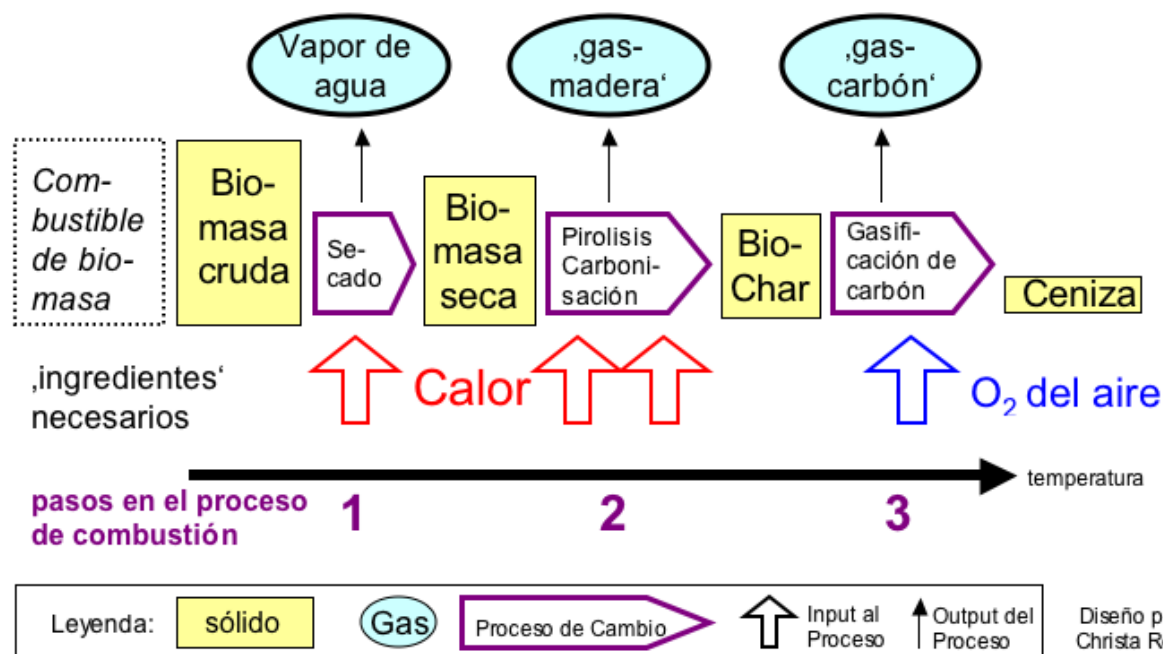
Entender la diferencia entre "alimentar una fogata" y "el control de un proceso de combustión en un generador de gas" es un punto de partida para comprender la manera en la que la biomasa y el fuego son combinados en una estufa de cocina.

Comencemos con un ejemplo familiar: Todos hemos visto una vela encendida: una vez encendida, procede a derretir lentamente la cera y arde con una llama estable por un tiempo prolongado. Notamos que el proceso en el que se quema la cera tiene múltiples pasos: primero se derrite (cambia de sólido a líquido), luego se traslada hacia arriba en forma líquida por la mecha, y luego se evapora debido al calor que emite la llama. La llama proporciona calor para derretir aún más cera sólida en la parte superior de la vela tanto por el calor radiante y la simple proximidad. La cera evaporada se mezcla con el oxígeno en el aire - y la llama visible se manifiesta en la interfaz donde los vapores de la cera que quitan la mecha se encuentran con el oxígeno del aire alrededor de la llama.

La manera en que la madera se quema es muy parecida a la cera de la vela, con algunas diferencias específicas. La mayoría de estas diferencias se deben al hecho de que las velas están hechas de cera altamente refinada y homogénea, mientras que la madera es un combustible menos puro - pero mucho más accesible (fácil de obtener) y asequible (mas barato) que la cera.

La madera y otra biomasa sólida constituyen, después de todo, los combustibles más antiguos de cocina. Son aún hoy la fuente más común de energía para cocinar en el planeta. Como en el caso de la vela, también la quema de madera y otra biomasa sólida es una secuencia de transformaciones - que ocurren casi simultáneamente, pero separados por pequeñas distancias en el tiempo y el espacio, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1: Cambios en el combustible sólido



Las sustancias sólidas son sometidas a cambios determinados por la presencia de **calor** y de **oxígeno**:

1. cuando la biomasa se calienta, se evapora el exceso de humedad y la temperatura de

- su superficie aumenta,
2. a temperaturas elevadas, la biomasa 'se piroliza' ("se descompone por el fuego ') en vapores combustibles y un residuo sólido, denominado 'carbón (vegetal)'.
3. la brasa, es decir el carbón al rojo vivo, se puede convertir en cenizas, si se dispone de suficiente oxígeno.
4. bien mezclados con el oxígeno, los vapores y los gases generados pueden ser quemados una vez encendidos.

Durante todo el proceso de conversión, la temperatura aumenta desde la temperatura ambiente hasta muy por encima de 800 ° C, dependiendo de las condiciones locales.

En cada paso se sueltan vapores y gases mientras los sólidos se reducen en masa y volumen.

Si se logra una combustión completa, las emisiones deberían estar limpias y no contener otros ingredientes más que dióxido de carbono y vapor de agua. Si la combustión no es completa, entonces el resultado es humo y vapores compuestos de combustible sin quemar, entre otros el monóxido de carbono.

1.1.1 Pasos de la combustión de biomasa

Una vez que conocemos las condiciones que influyen en la combustión, podemos utilizarlas para controlar y optimizar el proceso. Por lo tanto vamos a tomar un momento para explorar cada etapa por separado:

Paso 1: Secado

El primer cambio ocurre durante el secado del combustible. La cantidad de agua transformada en vapor depende del contenido de humedad del combustible crudo. La humedad también determina tanto la cantidad de calor necesaria para evaporar todo el agua del combustible y tanto la pérdida de masa y volumen hasta que el combustible esté bien seco.

Paso 2: Pirólisis (Carbonización)

Las temperaturas elevadas y el calor absorbido con el tiempo causan una descomposición total de la biomasa que se divide en gases y vapores volátiles, dejando atrás carbón sólido.¹

Los vapores contienen varios combustibles compuestos de carbono: es lo que llamamos "gas-madera" (wood-gas). Como el producto sólido de esta etapa es carbón, también se refiere a ese paso de la transformación como 'carbonización'.²

La pirólisis puede ocurrir en la ausencia total de oxígeno, **el factor de regulación es el calor**. En resumen: **sin añadir calor**, no hay pirólisis o generación de gas, y por consecuencia no hay combustión de gas, es decir que no hay fuego.

Paso 3: Gasificación de carbón

Una vez formado el carbón, la siguiente etapa de la fase sólida es la de convertir los átomos de carbono en gases oxidados, dejando atrás la parte sólida que no contiene carbono, lo que llamamos 'ceniza'. Este paso de conversión sólo ocurre si hay oxígeno disponible que llega al carbón mientras que todavía está lo suficientemente caliente (como brasa al rojo vivo) para reaccionar con el oxígeno. A continuación, se produce la 'gasificación de carbón': el oxígeno reacciona con la brasa, el carbón sólido, produciendo monóxido de car-

¹ Algunos pueden tener experiencia propia con la destrucción pirolítica de una rebanada de pan en una tostadora: al principio comienza a cambiar de un color blanco-pálido a marrón dorado, mientras que suelta un olor apetitoso. Si se deja demasiado tiempo en la tostadora, los volátiles emergentes pronto se convertirán en humo espeso y ardiente ("wood-gas"), mientras que el pan luce varios tonos de "negro" debido a la carbonización. En el peor de los casos 'la tostada' va a salir como un trozo de carbón negro no apto para el consumo humano.

² Pirólisis (Griego: descomposición por fuego) y Carbonización son como las dos caras de una misma moneda, dependiendo de si la atención se centra en la generación de gas-madera o la creación de carbón

bono, dióxido de carbono y una buena cantidad de energía térmica adicional. La ceniza que queda es la fracción incombustible del carbón, los minerales³.

Nota: El factor de regulación de la gasificación de carbón es la cantidad de oxígeno disponible alrededor de la brasa, el carbón caliente. Si la brasa se enfría y / o el suministro de oxígeno es limitado, la conversión de carbón a ceniza no ocurre: el carbón se conservará y no se creará ceniza.

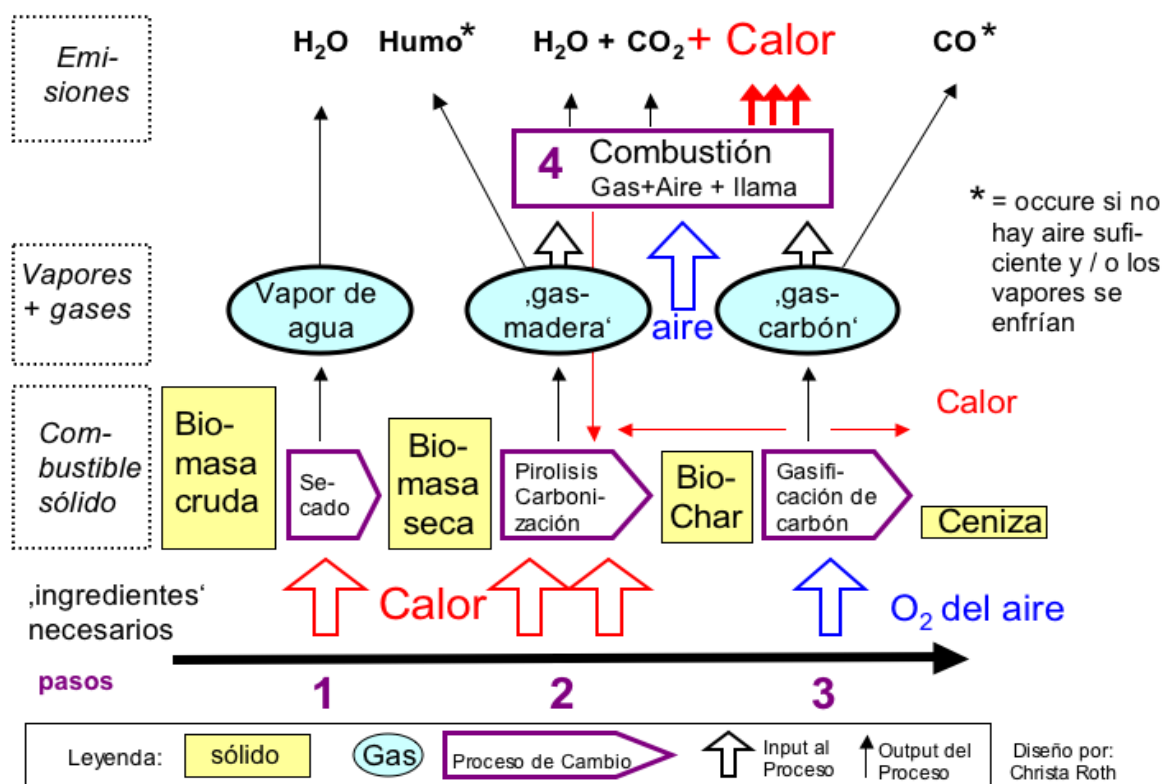
Paso 4: Combustión del gas (ver Figura 2)

La etapa final de la **combustión del gas** es donde los gases son "quemados" y la mayor parte del calor útil se libera, que se puede utilizar por ejemplo para cocinar.

La combustión es una serie de reacciones de oxidación, que sólo pueden tener lugar si hay suficientemente oxígeno disponible. **El principal factor regulador de la combustión es la cantidad de oxígeno mezclado con los vapores y gases calientes.**

Si no hay suficiente oxígeno disponible, los gases no pueden "quemarse" y la combustión se quedará incompleta, resultando en emisiones de humo sin quemar y monóxido de carbono.

Figura 2: Combustión del gas (o no, si las condiciones no son propicias)



Para obtener una combustión completa de los componentes combustibles gaseosos recién generados de la biomasa, hay que mezclar estos vapores y gases calientes intensivamente con el oxígeno proporcionado por el aire. La combustión se lleva a cabo en presencia de una llama o una chispa para la ignición.

La llama es la manifestación visible de la combustión. En el caso ideal tan sólo gases completamente oxidados, sin valor energético residual, salen de la zona de combustión - lo que significa que todos los hidrocarburos de los combustibles de biomasa se han oxidado a dióxido de carbono y vapor de agua.

³ Ceniza no es otra cosa que los minerales que la planta una vez absorbió del suelo. Normalmente ceniza quemada por completo no debería contener ningún carbono u otras sustancias de valor energético.

Si la combustión es incompleta por falta de oxígeno o si los vapores se han enfriado por debajo del punto de reacción de combustión, se convierten en emisiones no deseadas: en el caso del 'gas-madera' se manifiesta en forma de humo extremadamente irritante.

En el caso del 'gas-carbón' se manifiesta en forma de monóxido de carbono, un gas tóxico inodoro, imperceptible, y altamente indeseable: el monóxido de carbono es venenoso y un peligro para la salud humana, que puede incluso causar mortalidad.

Input y Output de energía

El objetivo de quemar biomasa para cocinar es de proporcionar energía térmica para preparar comida, ya sea para calentar, cocer, freír o cualquier otro modo de preparación.

Sin embargo, se necesita energía para romper los enlaces químicos dentro de la biomasa sólida. Así que los dos primeros pasos de conversión descritos en realidad consumen CALOR, lo que significa que son endotérmicas. Es por eso que necesitamos un fósforo o alguna otra fuente de llama para iniciar un fuego. Una vez encendido el fuego, el calor liberado por las reacciones de combustión proporcionan la energía térmica necesaria para hacer continuar el fuego y hacerlo auto-sustentado.

Cuando se diseña un dispositivo para controlar la quema de biomasa y regular el ritmo de generación de calor, es importante tener en cuenta que las etapas de secado y pirólisis son controlados mediante la regulación de la cantidad de CALOR que llega a la biomasa sólida, mientras que las fases posteriores de la gasificación de carbón y la combustión de los vapores depende de la disponibilidad de OXIGENO.

Las dos flechas rojas horizontales en la Figura 2 simbolizan que la gasificación de carbón produce algo de calor radiante. A su vez, la combustión también irradia calor hacia el combustible de biomasa. Estas fuentes de calor hacen continuar los pasos endotérmicos iniciales que generan más gases de madera, sosteniendo el fuego en la forma de las llamas de color amarillo y azul por encima de la madera "ardiente".

1.1.2 El fuego abierto 'sin control'

En esta foto podemos detectar todos estos pasos del proceso de 'quema' cuando "arde" un fuego abierto. **Todo sucede al mismo tiempo de una manera bastante incontrolada:** se ve combustible crudo sin quemar (izquierda), llamas amarillas indicando la combustión de gas-madera (centro), el rojo vivo de las brasas y el negro de la madera carbonizada, en algunos sitios parcialmente cubierto por ceniza gris y blanca (derecha). También hay humo como resultado de combustión incompleta, más visible por la izquierda.



Un palo muestra tres zonas diferentes: la punta izquierda aún queda sin quemar, el centro consta de una zona negra de transición ya carbonizada, y la punta derecha está cubierta de ceniza (lo que indica que había brasa que al contacto con el aire se convirtió en ceniza).

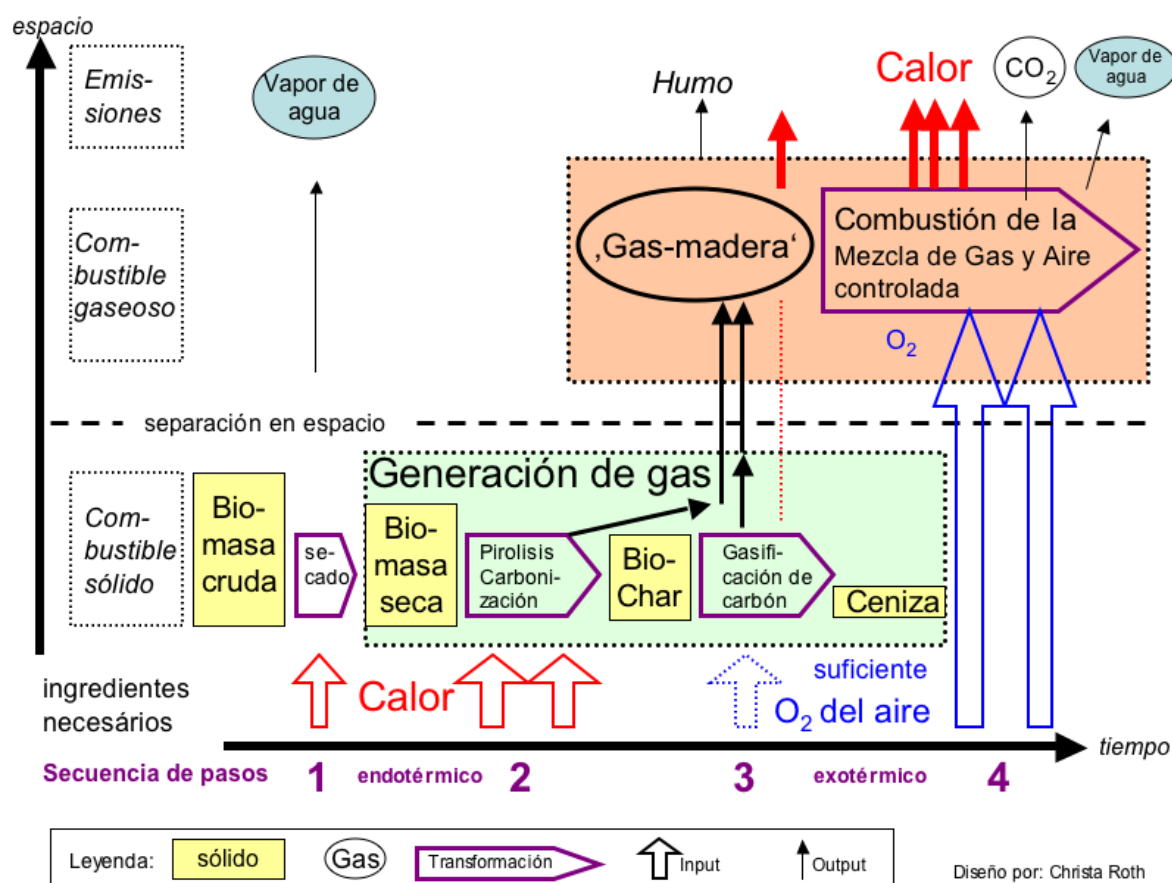
1.1.3 Mejorar el control en un micro-gasificador

Un **gasificador de biomasa** es el término general para un dispositivo que convierte la biomasa sólida en gas que posteriormente se puede quemar de manera controlada. En contraste a un fuego abierto, la generación de gas ocurre deliberadamente por separado en el espacio y el tiempo de la combustión de los gases (ver siguiente figura). Mientras que los fuegos abiertos y la mayoría de estufas convencionales se rigen por el suministro de combustible, la mayoría de los **gasificadores son controlados por el suministro de aire**.

Los gasificadores ofrecen la posibilidad de optimizar deliberadamente las condiciones marco de cada paso de la conversión. Al controlar los agentes principales, **calor y aire**, se puede lograr una combustión de la biomasa excepcionalmente limpia. El principal reto es conseguir que llegue la cantidad adecuada de aire a los lugares ciertos.

El paso de la gasificación de carbón se puede evitar, si se suprime el suministro de oxígeno (aire) al carbón caliente. En este caso, los gases y vapores combustibles son principalmente 'gas-madera' generado por pirólisis de biomasa cruda y, por falta de oxígeno, se conserva una buena parte del carbón. Los gasificadores con aire restringido que puedan crear 'biochar' o 'bio-carbón' son llamados gasificadores 'pirolíticos'.⁴

Figura 3: Generación de gas por separado de la combustión = 'gasificador'



⁴ La capacidad de los gasificadores pirolíticos de producir carbón vegetal ("biochar") como un subproducto de la generación de calor está ganando un creciente interés, como el debate sobre el cambio climático ha provocado la búsqueda a nivel global de sistemas de bio-energía con un balance negativo de carbono. Si el carbón creado no se utiliza para fines térmicos que le convertirá en dióxido de carbono, sino se utilizará como 'abono' para mejorar suelos y aumentar la producción agrícola, se puede fijar el carbono a largo plazo. Más información sobre el biochar se puede encontrar en el Anexo.

Aunque se podría bombear los gases combustibles a través de tuberías a sitios lejanos para otros usos⁵, para cocinar es más práctico tener la zona de combustión lo más cercano posible al generador de gas y quemar los gases cuando están aún bien calientes.

Resumen: '**Gasificación**' es el término general para la **conversión de un combustible sólido en un combustible gaseoso**. El proceso de crear calor de biomasa sólida va en pasos: **Gasificación de madera** convierte madera u otra biomasa cruda en carbón y gases. Está controlada por el suministro de calor y puede ser frenado por enfriamiento. **Gasificación de carbón** convierte carbón en ceniza y gases. Está controlada por el suministro de oxígeno y puede ser 'arrestado' por privación de oxígeno. **Gas-madera** es el término usado para sumar la mezcla de vapores pirólíticos y los gases combustibles de ambas reacciones de gasificación (incluyendo la gasificación de carbón). Arde (se quema) cuando es mezclado con oxígeno una vez encendido por una chispa. En un '**fuego abierto**' todos los pasos de gasificación y combustión ocurren simultáneamente en el mismo lugar con poco o sin control sobre los procesos.

⁵ En el pasado, las 'fábricas de gas municipales' producían 'gas de ciudad' de biomasa que se distribuyó por tubería hasta consumidores muy lejanos para ser utilizado a distancia para cocinar o alumbrar casas y calles. Por esto hacía falta enfriar y purificar el gas, que conllevó bastantes problemas.

1.2 Aplicaciones prácticas de gasificadores de biomasa

Aplicación	Escala de operación
<i>La sustitución de carbón o leña por otros residuos de biomasa como combustible para cocina, calefacción, iluminación y provisión de energía térmica industrial</i>	<i>Hogares, instituciones, pequeñas y medianas empresas</i>
<i>Producción de Carbón (vegetal) para elaboración de combustibles refinados para cocinar como briquetas de carbón, material para filtros, o biochar para suelos.</i>	<i>Cualquier escala desde hogares a grandes plantas industriales</i>
<i>Generación de electricidad⁶</i>	<i>Plantas desde escala media hasta industrial</i>
<i>Producción de productos químicos y abonos</i>	<i>Plantas Industriales</i>
<i>Producción de combustible líquido para transporte</i>	<i>Plantas Industriales</i>
<i>Tratamiento y gestión de residuos sólidos (agro-industrial, residuos de hospitales, municipios, residencias etc.)</i>	<i>Depende de la toxicidad y el grado de peligro que supone el respectivo residuo</i>

1.3 Características distintivas de los gasificadores de biomasa

Hay muchos diseños básicos de gasificadores de biomasa, así que ¿cómo distinguirlos? Las principales diferencias entre los sistemas se centran en los siguientes elementos distintivos:

- La ubicación del quemador de gas (de acoplamiento o separada de la generación de gases)
- La dirección del flujo (up-draft/counterflow – tiro hacia arriba/tiro invertido, down-draft/co-flow – tiro hacia abajo/ cofluyente, tiro cruzado, etc.)
- El nivel de presión del gas durante la operación (atmosférica, de succión y presión por convección forzada)
- El agente gasificante (aire natural, oxígeno puro, vapor de agua)
- El método de creación de tiro y la velocidad de flujo de los vapores del agente gasificante (corriente o tiro natural, asistida por un ventilador, de tiro forzado)
- El método de contacto gas / combustible (lecho fijo, lecho fluidizado, de flujo de arrastre, etc.)
- La materia prima: biomasa bastante seca, en forma natural (como en las mazorcas de maíz) o procesado en un tamaño adecuado (trozado como las astillas de madera) o aglomerado (como pellets de aserrín)
- Las propiedades de la ceniza (ceniza seca, escoria/clinker o cenizas de fusión a altas temperaturas)
- La fuente de calor para la gasificación (autotérmico = generación de calor propio/interno por combustión parcial en un frente pirolítico, o alotérmico = fuente de calor externa que calienta el combustible interno hasta que la pirólisis ocurre, como en retortas, donde no se queman gases con llama en el interior)
- La escala de la operación y el tamaño del dispositivo (micro, pequeñas y medianas, grandes sistemas de aplicación industrial)

⁶Otras publicaciones tratan con opciones descentralizadas de la red de energía mediante la desviación del gas-madera a la unidad de generación de energía (normalmente un motor de combustión interna). Es necesario proveer una advertencia de que se necesita sumo cuidado para asegurar que el gas-madera sea limpio antes de suministrarlo al generador de electricidad, de lo contrario, el sistema no funcionara de manera óptima.

- El proceso de enfriamiento y limpieza del gas (relevante para los principales procesos industriales, donde los gases se transportan y / o se almacenan antes de su uso posterior)
- El objetivo inmediato (generación de calor o electricidad mediante el gas, gestión de residuos sólidos municipales, etc.)

No todos estos aspectos son pertinentes para la aplicación de la gasificación de la biomasa para cocinar. Así, la sección siguiente se concentra en las propiedades y características necesarias para que un gasificador sea apropiado para la cocina. A veces es útil pensar de los gasificadores como la mera fuente de la energía térmica, originada por diferentes tipos de combustibles, que se aplica a una amplia variedad de tipos de cocina.

1.4 Micro-gasificadores adecuados para cocinar

Debido a que los gasificadores requieren altas temperaturas y la transferencia de calor en biomasa fría, es difícil hacerlos en tamaño pequeño. Como tal, ha sido un reto de 'domesticar' la gasificación de biomasa para cocinar! Los gasificadores comercialmente viables han sido entendidos y utilizados en la gran industria e incluso en el transporte: más de un millón de vehículos fueron alimentados por gasificación de biomasa (principalmente carbón) durante la Segunda Guerra Mundial, en tiempos de escasez de combustible líquido. Pero no había nada similar para aplicaciones pequeñas, tales como una estufa doméstica. Las gasificadoras más estudiadas y prevalentes son las de tiro invertido, donde los gases generados se secuestran para un uso a distancia, por ejemplo, en un motor de combustión interna o en una farola de gas para alumbrar una ciudad.

En el fondo, el reto en la cocina es una cuestión de escala: como controlar la pirólisis, la gasificación y la combustión en un espacio vertical tan reducido y suficientemente pequeño que permita el uso individual para una ama de casa en un hogar.

Micro-gasificación se refiere a gasificadores lo suficientemente pequeños como para caber por debajo de una olla a una altura conveniente para el usuario. El Dr. Thomas B. Reed en 1985 conceptualizó en los EE.UU el proceso de micro-gasificación como 'encendido por arriba con tiro natural hacia arriba' (top-lit up-draft = TLUD, que es un término que se va a usar en este manual). Al inicio desarrolló tan sólo un prototipo de laboratorio. En la misma época, pero independientemente y sin saber de los esfuerzos de Dr. Reed, el noruego Paal Wendelbo desarrolló estufas para cocinar basadas en el mismo principio TLUD en campos de refugiados en Uganda.

Los dispositivos TLUD siempre han sido diseñados para estufas de biomasa. En el inicio hubo algunos modelos de autoconstrucción para montañistas, pero no fue hasta 2003 que el primer micro-gasificador surgió en el mercado cuando el Dr. Reed presentó el Woodgas-Campstove para el nicho del mercado de camping y actividades al aire libre.⁷

Los modelos disponibles en el mercado son todavía escasos, aunque existe un creciente interés. El Módulo 2 de este libro trata de dar una visión general sobre el actual "estado del arte" de los gasificadores apropiados para el uso doméstico.

1.4.1 Ventajas comparativas de micro-gasificadores para cocinar

Los micro-gasificadores de pequeña escala ofrecen buenas oportunidades para el uso como estufa y/o para la calefacción doméstica, ya que son capaces de

- Quemar el gas-madera limpio en gran medida sin humo (a diferencia de la quema convencional de combustible sólido).

⁷ Más detalles en Módulo 2 y en <http://www.woodgas.com/>, dónde se pueden encargar estufas de acampadas.

- Proporcionar una llama caliente y constante poco después del encendido (no hay que esperar, como ocurre con el carbón vegetal).
- Tener alta eficiencia de combustible debido a la combustión completa del combustible (poco humo).
- Ser operado por lotes que permiten la operación prolongada sin necesidad de atención continua (se carga una vez, y después del encendido no hay que atender al fuego).
- Utilizar una amplia variedad de combustibles de biomasa sólida, incluso residuos de biomasa pequeña de bajo costo que a menudo está descartada y que otras estufas no pueden manejar (cualquier otra biomasa que leña en forma de palo).
- Dar al usuario la libertad de decidir de forma individual al momento de usar el dispositivo: el combustible de biomasa es a menudo disponible a nivel local al alcance de la mayoría de la gente. Se puede recoger o comprar directamente por el usuario de la estufa. Por lo tanto, hace que los gasificadores de biomasa sean opciones "listas para usar", independiente de factores externos o fuera del control del usuario pero que puedan restringir la disponibilidad de otras fuentes de energía como la electricidad, el suministro de combustibles fósiles, o la energía solar.

1.4.2 Características de diseño para hacer los micro-gasificadores apropiados para cocción

Para que los micro-gasificadores sean más utilizables **y por razones prácticas y económicas** deben tener las siguientes características:

- Operar a presión atmosférica (sin necesidad de almacenamiento a presión de combustible o aire, sin embargo, se pueden incluir ventiladores pequeños y económicos).
- Utilizar el aire ambiente como agente gasificante (disponible sin costo alguno).
- Utilizar biomasa seca y sólida como combustible, si es posible de residuos de biomasa barata.
- Utilizar una cama fija de combustible (sin necesidad de mover el combustible durante la operación).
- Debe producir un residuo seco, ya sea carbón o ceniza, para facilitar la remoción y evitar la obstrucción de la estufa.

Propiedades comunes de los micro-gasificadores adecuados para calentar una olla colocada en la parte superior:

- **Acople cercano de combustión de los gases:** se queman directamente a poca distancia por encima del generador de gas y la cama de combustible mientras el gas aún está caliente. El calor puede llegar directamente a la olla. No es necesario refrigerar, depurar (lavar) o bombear por tuberías el gas.
- **Encendido desde arriba:** La mayoría de los micro-gasificadores utilizados para cocción están encendidos en la parte superior de la cama de combustible. Esta es una manera fácil de mantener el calor cerca de la base de la olla. Muchos de los micro-gasificadores trabajan con una carga de combustible, es decir, se llena el recipiente de combustible una vez y luego se enciende en la parte superior del combustible.
- **Corriente de aire ascendente (tiro hacia arriba):** Una de las características principales de diferenciación de los micro-gasificadores es la corriente de los gases en relación con la progresión del frente de la pirolisis. El aire y los gases de combustible se mueven hacia arriba, mientras que el frente de fuego de la pirolisis se mueve hacia abajo. El diseño de corriente de aire hacia arriba es una opción fácil para objetivos de cocción porque los gases calientes naturalmente suben ya que son más livianos que el aire frío en el ambiente. Esto crea una corriente natural de aire a través de la cama de combustible,

facilitando el suministro de oxígeno a la zona de pirolisis. Dependiendo del tipo de combustible y la densidad de la cama de combustible, se pueden agregar ventiladores para forzar la entrada de aire a la cama de combustible y lograr un flujo apropiado de oxígeno. El uso de ventiladores pequeños aumenta la corriente natural de aire y a menudo se le llama “Convección forzada” o ‘ tiro forzado’.

- La mayoría de los micro-gasificadores son **auto-térmicos**, es decir, el combustible es directamente pirolizado por un frente pirolítico, donde sucede una combustión parcial de los gases creados por la pirolisis. Sin embargo, hay formas híbridas como la estufa ANILA (ver detalles en Módulo 2) diseñadas específicamente para la producción de biocarbón (biochar) con dos cámaras de combustible separadas: una cámara interior auto-térmica (que crea su propio calor, o mediante un frente pirolítico o mediante un fuego convencional), y otra alo-térmica (que se ubica alrededor de la cámara auto-térmica y que recibe el calor generado por ella, en cuyo proceso se calienta el combustible en el recipiente exterior hasta que empieza la pirolisis alotermal sin estar en contacto con la llama).

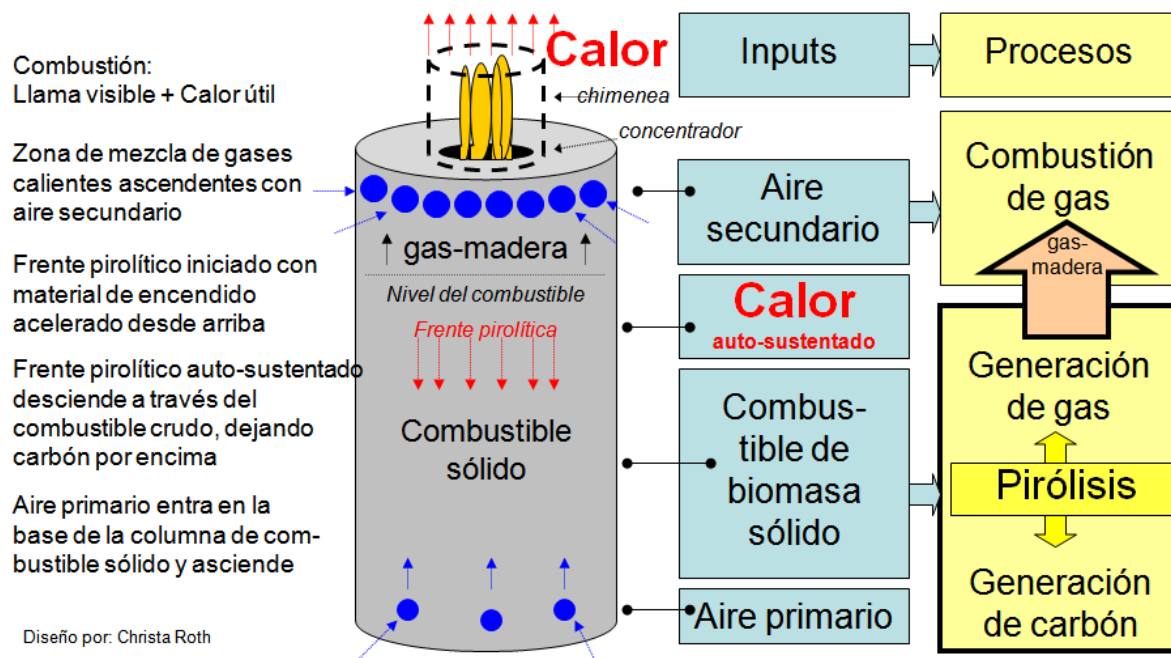
1.5 Ejemplo: El gasificador TLUD (top-lit up-draft = Encendido desde arriba con tiro ascendente)

Los primeros micro-gasificadores conocidos de los señores Dr. Tom Reed y Paal Wendelbo respectivamente son TLUDs pirolíticos que pueden crear biocarbón con un frente pirolítico y un suministro restringido de aire primario. El principio de diseño de TLUD es de “código abierto”, de dominio público y no está protegido por derechos de autor o patentes. Los planos de construcción de TLUDs están disponibles públicamente en internet o de algunos de los diseñadores. Por lo tanto, los TLUDs son fáciles de adaptar y replicar en proyectos individuales sin infringir patentes o encontrarse con problemas de derechos de autor. Por estas razones, el principio de TLUD será explicado a continuación en detalle:

Figura 4 describe las características de diseño básico de un micro-gasificador pirolítico TLUD derivado de los principios de gasificación de biomasa explicados anteriormente.

Figura 4: Características básicas del diseño micro-gasificador TLUD

Principio básico de un gasificador pirolítico TLUD



El TLUD más sencillo puede ser de una simple lata como unidad de combustión tal como se muestra en la fotografía⁸ de la portada, con orificios separados para la entrada de aire primario y secundario.

La mezcla del combustible gaseoso con el oxígeno proporcionado por el aire secundario se puede optimizar con un disco de concentración o la entrada forzada de aire para asegurar una combustión óptima de los gases.

Una chimenea por encima de la zona de combustión puede aumentar la corriente de aire y mejorar aun más la mezcla de gas y oxígeno.

En los gasificadores TLUD el combustible no se mueve excepto por causa de su reducción en volumen una vez que ha sido pirolizado.

Dos cosas se mueven:

1. Un frente caliente de pirolisis se mueve hacia abajo a través de la masa de combustible sólido convirtiendo la biomasa en carbón.
2. Los gases calientes creados ascienden naturalmente hacia la zona de combustión mientras que el carbón permanece atrás por encima del frente pirolítico.

Davide Caregnato de la Universidad de Udine (Italia) ha copilado una buena animación para visualizar el proceso. Se encuentra en <http://www.youtube.com/watch?v=m2Cjt7AiZJY>

El término 'TLUD' muestra dos características principales de estos tipos de micro-gasificadores: El fuego se enciende en la parte superior de la columna de combustible de biomasa y el aire primario de combustión se traslada hacia arriba desde la parte inferior a través de la columna de combustible. La cantidad limitada de aire primario solamente permite la combustión de una menor cantidad del gas-madera creado (combustión parcial), lo

⁸ Un ejemplo es la 'iCan' descrita en el Módulo 2

suficiente para proveer el calor requerido para mantener las reacciones de pirolisis. Dado que la tasa de generación de calor es determinada por la cantidad de oxígeno disponible, el progreso del frente pirolítico se puede controlar regulando la corriente de aire primario. Adicionalmente, el incremento de la corriente de aire (con un ventilador o tiro inducido por una subida/chimenea) resultara no solamente en el progreso del frente pirolítico en la columna de biomasa, sino que también temperaturas más altas en la zona de pirolisis. Esto impactará las características del carbón creado, lo cual es importante si se pretende utilizarlo como biocarbón.

En un TLUD típico, el frente pirolítico progresa hacia abajo a una velocidad de 5 a 20 mm por minuto, dependiendo de la naturaleza del combustible y la cantidad de aire primario. En el caso de pellets de aserrín altamente densificadas el progreso con tiro natural puede ser tan lento como 1 mm por minuto. En otras palabras, una columna de pellets de madera de 6 cm de altura (=60 mm) tardará 60 minutos para ser consumida.

Por encima del frente pirolítico, el carbón creado se acumula ya que su conversión en ceniza es imposible por la falta de oxígeno, debido al suministro restringido de aire primario. El resto de los gases calientes inertes (principalmente el nitrógeno) arrastran los gases pirolíticos y el vapor de agua hacia arriba a la zona principal de combustión. Ahí, el aire adicional (aire secundario) es proporcionado y los gases pirolíticos son quemados, produciendo una llama limpia y separada si hay suficiente oxígeno para llegar a una combustión completa. Los gases pirolíticos contienen alquitranes, hidrocarburos de cadena larga que se manifiestan como un humo espeso muy irritante, si no se queman por completo.

Particularmente entre los gasificadores, el TLUD opera en un modo por lotes o cargas de combustible y termina prácticamente toda la pirolisis de la biomasa o gasificación de la madera antes de comenzar con una gasificación de carbón apreciable. La transición entre las dos fases es muy distinta: la llama cambia de color amarillo-naranja (típico para la quema de gases alquitranados y partículas de carbón) a una pequeña llama azulada que indica la quema de monóxido de carbono.

En Youtube se encuentra una multitud de videos para visualizar TLUDs en acción. El siguiente link <http://www.youtube.com/watch?v=SaeanoWZE7E> proporciona un buen resumen de un TLUD y su operación por Paul Anderson.

1.6 Desempeño de los micro-gasificadores para cocción

En los siguientes párrafos, se analizan los factores que influyen en el rendimiento de los micro-gasificadores para cocción. Más adelante se presentan algunos resultados relacionados con el uso de combustible y las emisiones.

1.6.1 Factores de desempeño influidos por el diseño o el usuario

Si se desea mejorar el rendimiento del micro-gasificador y adaptarlo a las condiciones locales, se deben conocer los factores y los parámetros que determinan el funcionamiento exitoso en una aplicación dada. Algunos de ellos deben ser abordados por el diseñador de la estufa al momento del diseño de la misma y otros son determinados por el usuario al momento de utilizarla.

Potencia del Gasificador y rendimiento de calor

La potencia de un gasificador está principalmente determinada por la cantidad de combustible gaseoso o vapores pirolíticos producidos en cualquier momento a partir del combustible sólido.

La velocidad de conversión a la que el combustible sólido es pirolizado para crear los vapores de combustible dependen en gran manera de:

- La **temperatura** máxima en el contenedor de combustible: temperaturas altas en el generador de gas crearan más gases por unidad de tiempo debido a un mayor porcentaje de la materia volátil convertida a gases. De igual manera el frente pirolítico se mueve más rápidamente hacia abajo en la columna de combustible.
- El **aire primario** disponible influye en gran medida al calor en el reactor y por lo tanto, en la velocidad e intensidad de los procesos de pirolisis: Si hay menos aire primario = se crea menos gas-madera = menos conversión de biomasa en carbón.
- El **diámetro del contenedor de combustible**, el cual determina directamente el tamaño de la superficie del frente pirolítico que se mueve a través del combustible: un diámetro más pequeño tendrá menos área de superficie, de manera que el frente pirolítico pueda convertir menos combustible sólido por unidad de tiempo en gas que el que se produce en un recipiente más amplio.
- El **tipo y la densidad del combustible** y la cantidad de aire primario que lo puede atravesar para que se lleve a cabo la pirolisis: el combustible grueso, ligero y esponjoso se quemará más rápido que el combustible denso y compacto con menos espacios de aire como por ejemplo aserrín altamente comprimido en forma de pellets.

Regulando la potencia del fuego a través de las características de diseño

Elevando la temperatura en la zona de combustión

Las reacciones de combustión se aceleran a temperaturas elevadas. Esto se puede lograr protegiendo el gasificador del enfriamiento especialmente por el viento mediante el **aislamiento de la cámara de combustión** y **precalentando el aire secundario** antes de que ingrese a la zona de combustión. Muchos modelos de gasificadores por lo tanto combinan el precalentamiento con el aislamiento mediante la adición de otra "sección" alrededor del contenedor de combustible: el aire secundario entra en el fondo de la brecha entre la sección y el contenedor de combustible original. El aire secundario que pasa por la brecha captura el calor irradiado por el contenedor de combustible caliente mientras asciende por los lados hasta entrar como aire secundario caliente en la parte superior a la zona de combustión. Esto tiene varios beneficios: actúa como aislante (evita que el calor irradie directamente de la superficie del gasificador) y recicla parte del calor irradiado aumentando la eficiencia de combustión y la eficiencia del sistema en general.

Velocidad de la corriente y el flujo de aire

Corriente natural (CN) vs Convección forzada (AF= Aire forzado o asistido por ventilador)

Todas las opciones para proporcionar aire primario adecuado dependen del tamaño del combustible. Con combustible grueso en pedazos mayores, puede funcionar la corriente natural, mientras que con combustible de pequeñas partículas, el aire necesita ser forzado a través de la cama de combustible lo que es más fácil de lograr con un pequeño ventilador. Como fuentes de energía eléctrica para alimentar los ventiladores hay varias opciones. La red (donde haya), o como alternativa en la ausencia de la red: pequeños generadores sin almacenamiento (como paneles solares o generadores termoeléctricos) o dispositivos de almacenamiento (como baterías desechables o acumuladores recargables de manivela). En algunos gasificadores con suministro de aire forzado se puede regular la velocidad del ventilador y por lo tanto, el suministro de aire. La estufa de acampada de Tom Reed ofrece dos tomas de corriente para la batería y permite así elegir las velocidades del ventilador entre bajas y altas. Otras aplicaciones incluyen un botón giratorio que permite regular la potencia de la fuente de electricidad.

Sin embargo, la mayoría de los sistemas no pueden regular el aire primario y secundario por separado.

El control separado del aire primario y secundario ofrece más opciones para ajustar el rendimiento del gasificador durante su función. Con más aire primario disponible, se puede incrementar la tasa de las reacciones pirolíticas. Esto conducirá a un aumento de la velocidad de combustión y la generación de mayores cantidades de gas-madera. Si el suministro de aire secundario no es suficiente, una porción del gas-madera creado no completará la combustión y los gases saldrán del gasificador sin quemar. Esta situación además de desperdiciar combustible, genera humo excesivo.

Si se aumenta el aire secundario al mismo tiempo que el aire primario, el gas-madera se quemará completamente, lo que aumentará la generación de energía térmica de la estufa. Un incremento repentino del aire secundario puede apagar la llama en la zona de combustión, lo que causará que todo el gas-madera salga de la zona de combustión sin haberse quemado. Esto generará mucho humo hasta que la llama de la zona de combustión secundaria sea reencendida.

Diámetro del recipiente de combustible

Si se necesita energía alta y constante, se recomienda un recipiente de combustible con un área de superficie más grande. Para cocer a fuego lento donde se necesita menos energía, un diámetro pequeño es ventajoso. Una manera de regular la salida de energía es tener recipientes de combustible de diferentes tamaños para diferentes trabajos. Esto requiere de cierta experiencia y práctica por parte de los usuarios para adaptar los requisitos de cocción con el patrón de producción de calor de varios contenedores de combustible.

Con combustible y suministro de aire constante, el área del contenedor de combustible determina la salida de calor del gasificador. Se necesita recolectar más información y experiencias sobre cómo regular la energía del fuego o lograr una buena proporción entre la operación a energía alta y baja de un micro-gasificador.

Regulación de la energía del fuego por parte del usuario

Control del aire primario

El control del aire primario es probablemente el parámetro más fácil de controlar por parte del usuario para regular la potencia cuando el micro-gasificador está en marcha. Con tiro forzado, es más fácil si se puede regular la velocidad del ventilador.

Aún con sistemas de corriente natural, el suministro de aire primario se puede regular abriendo o cerrando los orificios de entrada de aire primario.

Se debe tener cuidado que el suministro de aire secundario se aumenta a una tasa similar que la del aire primario: cuánto más aire primario, más combustible se convierte en gas-madera. La mayor cantidad de gas-madera solo llega a rendir más energía si hay suficiente oxígeno disponible para asegurar la combustión de todo el gas-madera creado. Al contrario, un exceso de aire primario causará que el gas-madera deje la zona de combustión sin quemarse, desperdiciando el combustible y creando humo.

Duración del tiempo de cocción

En un TLUD, el combustible no se agrega usualmente durante su funcionamiento. La duración del tiempo de cocción depende de la masa de combustible que se coloca en el recipiente de combustible. La masa disponible es una función del volumen y la densidad de una sustancia. Esto significa que un combustible de baja densidad en el mismo volumen de recipiente de combustible tendrá menos masa para quemar y producirá menos calor total de una carga de combustible que un combustible más denso.

Regulación por características de diseño

Con combustible y suministro de aire constante, la **ALTURA** del recipiente de combustible determina la **duración del tiempo de quema** de un micro-gasificador TLUD.

El tiempo de cocción se puede extender cuando se utiliza más de un recipiente de combustible tras otro, con una pequeña interrupción del ciclo de cocción a medida que el recipiente que ya ha gastado su combustible se cambia y es reemplazado por un recipiente con combustible fresco, previamente encendido en su parte superior antes de colocarlo en la estufa.

Regulación por parte del usuario

Propiedades del combustible

Los combustibles de alta densidad tienen un valor energético superior a los combustibles de baja densidad. Para la misma tasa de aire primario, el combustible más denso rendirá más tiempo con llama y más energía, así como más combustible sólido puede ser convertido en gas-madera. En un recipiente de combustible con volumen de 1 litro se pueden encargar bien 80 g de casullas de arroz de baja densidad, o 250 g de chipado seco o en exceso de 600 g de pellets de aserrín compacto.

Otras consecuencias relacionadas con las propiedades de los combustibles:

- Tipos de combustible y su contenido energético: En general, los combustibles con los valores más altos de energía mejoran el funcionamiento de la estufa y producen una combustión más limpia.
- Contenido de humedad: cualquier contenido de humedad que exceda el 20% reducirá la eficiencia de combustión. Por lo tanto, es necesario que el combustible esté seco, aunque se necesite secarlo por separado anteriormente.
- Calidad de la preparación del combustible:
 - Forma y tamaño: los combustibles gruesos que permiten un poco de flujo de aire a través de la cama de combustible proporcionan mejores resultados. Partículas de tamaño inferior a 1mm (como aserrín fino o casullas de arroz) probablemente necesitan aire forzada para garantizar suficiente corriente de aire.
 - Distribución del tamaño: el tamaño uniforme y homogéneo de las partículas se traducirá en un comportamiento predecible del frente pirolítico. Es por esto que las pellets o briquetas pequeñas presentan mejores resultados que los combustibles con variaciones significantes en sus dimensiones.

1.6.2 Factores de rendimiento influidos por el ambiente

Los principales **factores externos** que influyen en el rendimiento de los gasificadores están relacionados con el medio ambiente y en su mayoría fuera del alcance de los usuarios para que puedan influir en ellos.

- **Ubicación:** el viento nunca es favorable, ya que aumenta los efectos de enfriamiento. Si el viento entra a la zona de combustión desde arriba existe un riesgo de que apague la llama y el gas-madera ya no podrá ser quemado hasta que la llama se encienda de nuevo. Lo mejor es utilizar un gasificador en un lugar bien ventilado, pero al mismo tiempo resguardado del viento.
- **Altitud:** con una menor presión atmosférica a altitudes elevadas (por ejemplo, por encima de 1500 metros), se puede necesitar medidas para mejorar la corriente como una extensión de chimenea adicional para aumentar el tiro y la corriente natural o una convección forzada con ventilador.
- **Temperatura ambiente:** las bajas temperaturas tienen una influencia negativa en la velocidad de las reacciones químicas y la producción de energía en general. Las temperaturas altas favorecen la combustión completa.

- **Humedad:** la humedad del aire muy alta puede influir negativamente en el rendimiento.

Para que cualquier gasificador pueda funcionar sin problemas en el marco de todas estas variables, el diseño debe ser capaz de manejar todos los factores anteriores en la situación más adversa. Las adaptaciones de diseño podrían ser necesarias para compensar las influencias negativas en el rendimiento.

Se deben recolectar y documentar más datos y experiencia del usuario sobre este tema para una mejor comprensión de los distintos efectos. Esto exige más pruebas de campo para generar más retroalimentación, por lo que las aplicaciones pueden adaptarse mejor a las necesidades de los distintos usuarios.

1.6.3 Resultados de rendimiento (comportamiento)

Los micro-gasificadores son actualmente la opción más limpia de estufas de combustión de combustibles de biomasa sólida. Cuentan con las emisiones más bajas, como se muestra en el siguiente gráfico, compilado por Paul Anderson en 2009, basado en los resultados entonces disponibles. Una impresión más clara, comentarios adicionales y las actualizaciones están disponibles en Internet en: www.bioenergylists.org/andersontludcopm

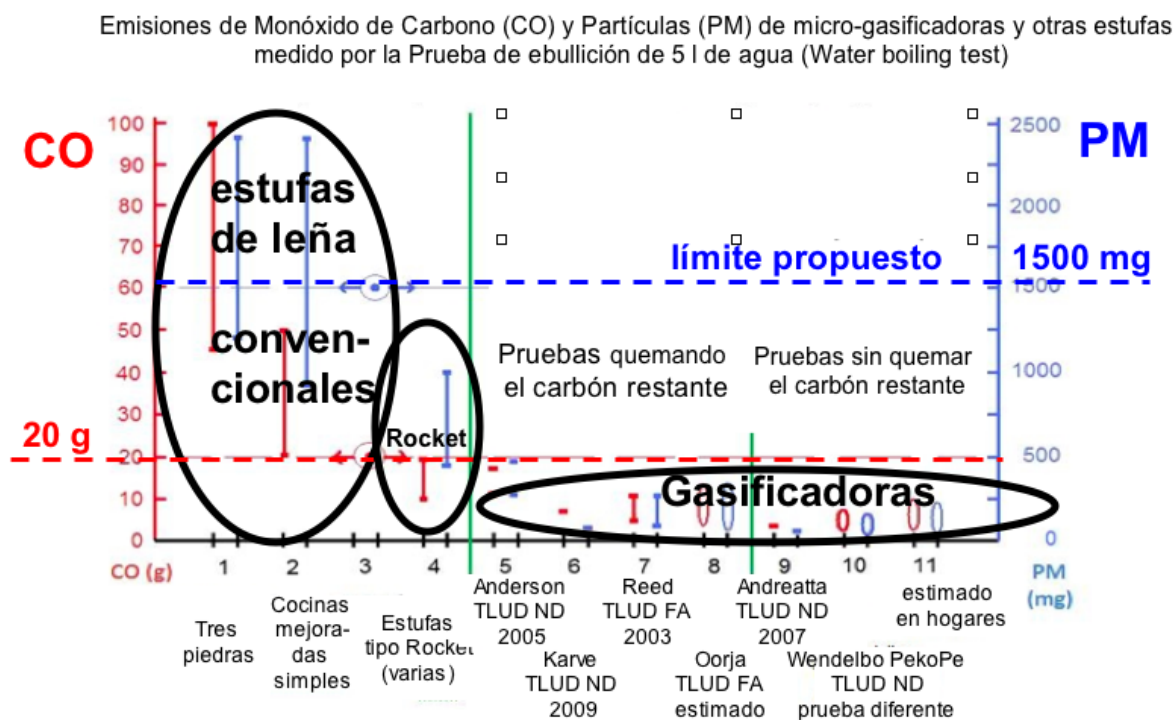


Figura 5: Comparación de emisiones de gasificadoras TLUD con otras estufas

Figura compilada por Dr. Paul Anderson (2009)

Leyenda: FA= fan assisted (convección forzada), ND=natural draft (tiro natural)

Emisiones de CO en rojo, PM (materia particulada) en azul: líneas verticales indican rango de datos. Fuente: datos de Aprovecho Research Centre (Comparing Cook Stoves), otras pruebas por las personas indicadas, y estimaciones propias. Todos gasificadores son modelos TLUD.

Las emisiones de monóxido de carbono fueron, como era de esperar, más bajas en las pruebas donde el biocarbón se había guardado y no había sido quemado. Estos son los

dispositivos que se mantienen muy por debajo de los criterios propuestos, de 20 g de CO y 1500 mg PM para 5 litros del WBT.

Es escasa la información comparable del consumo de combustible, debido a que pocas estufas gasificadoras han sido probadas de acuerdo a protocolos similares. Un desafío es que la actual y reconocida prueba de ebullición de agua no es muy adecuada para las estufas de una sola carga. Por lo tanto los resultados todavía no son fáciles de comparar con las estufas de alimentación continua, donde los tiempos de cocción se pueden extender fácilmente para alcanzar el punto de ebullición, más el tiempo posterior a fuego lento de 45 minutos para completar la prueba WBT.

Resultados de prueba en el Campamento de Estufas de 2009 mostró que el PekoPe, como un ejemplo para un TLUD, era la más limpia de todas las estufas sin dejar de tener un bajo consumo de combustible: con 768 g de pellets para la prueba de 5 litros de agua hirviendo se mantuvo muy por debajo del actual punto de referencia propuesto de 850 g.

Para más detalles vea <http://www.bioenergylists.org/stove-camp-2009> y el reporte en http://www.bioenergylists.org/files/Stove%20Camp%20Final%20Report_8.11.09.pdf.

Tenga en cuenta que los resultados de otros TLUD que figuran en ese mismo informe de Julio 2009 no son representativos: se realizaron experimentos controlando el aire durante la prueba, ya que ésta era la primera vez que este modelo se ha probado bajo una campana de emisiones. Además, las pruebas no se repitieron 3 veces para ser estadísticamente válido. Se espera que pronto se generen y se compartan más datos, ya que mucho más pruebas de TLUD se llevarán a cabo.

1.7 Resumen: Gasificación de biomasa en breve

La biomasa sólida no se quema directamente. “**Gasificación de Biomasa**” es el término amplio utilizado para la **conversión de biomasa sólida en gas-madera**. El proceso de la combustión de biomasa sólida va por etapas: la madera se convierte en carbón, y posteriormente, se convierte el carbón a cenizas. El gas-madera, que es el término para la mezcla de gases y vapores pirolíticos, es de fácil combustión cuando se mezcla con el oxígeno y se enciende.

En un “**fuego abierto**” todas las etapas de gasificación y de combustión ocurren simultáneamente y con poco o sin control sobre los procesos individuales de combustión. La separación deliberada de los procesos es el principio en los gasificadores de biomasa.

Un gasificador es un dispositivo donde el **generador de gas** es controlablemente **separado** (en espacio y tiempo) **del quemador de gas** donde se lleva a cabo la combustión. Los micro-gasificadores son dispositivos pequeños adaptables a propósitos de cocción, generalmente lo suficientemente pequeños como para colocarlos debajo de una olla. La siguiente tabla muestra un resumen de las fortalezas, las debilidades, los riesgos y oportunidades de utilizar las unidades de micro-gasificadores en las estufas domésticas.

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Quema limpia y completa de una amplia variedad de biomasa sólida • Emisiones más bajas de otras estufas con corriente natural • Alta eficiencia del combustible debido a la combustión completa • Puede utilizar una amplia gama de biomasa local incluidos los residuos que de otra forma no se queman limpiamente en otras estufas 	<ul style="list-style-type: none"> • La regulación de la potencia del fuego puede ser difícil • Dificultades para extinguir la generación de gas al final del proceso de cocción antes de que se haya consumido todo el combustible • Falta de flexibilidad en los tiempos de cocción con el dispositivo de alimentación por lotes (de una carga a la vez) el cual no puede ser reabastecido durante su funcionamiento

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Menor cuidado de fuego con una sola carga • Listo para usar inmediatamente después de encenderlo 	<ul style="list-style-type: none"> • Para encender, requiere material que arde rápidamente para iniciar la pirolisis en el generador de gas
Oportunidades	Riesgos
<ul style="list-style-type: none"> • Las unidades de gasificación se pueden unir a las estructuras actuales de una estufa para ampliar la gama de combustibles utilizables, dándole al usuario la opción de utilizar lo que está disponible en el momento • Se puede crear el bio-carbón como subproducto de la cocción • Permite la cocción con un balance negativo de emisiones de carbono si se guarda y si el carbón creado se utiliza como bio-carbón para mejorar el suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Si la llama de la unidad de combustión se apaga y el generador de gas continúa produciendo gas-madera, el humo espeso escapa de la unidad sin quemarse. Se debe evaluar cómo las personas aprenden a evitar o manejar este riesgo, y para ver cuál es la diferencia comparado con el mismo fenómeno que ocurre frecuentemente cuando la llama de una fogata se apaga y se crea mucho humo....

