

## Obtención de Carbones Activados a partir de Biomasa Activated Carbons from Biomass

Roberto A. Canales-Flores <sup>a</sup>

---

### Abstract:

Activated carbons have been recognized as one of the most widely used adsorbent materials. The usefulness of these materials depends primarily on their surface chemistry and pore structure. The activation method and the nature of the precursor used greatly influence the surface functional groups and pore structure of activated carbon. These chemical characteristics make activated carbons highly versatile materials with numerous applications in diverse areas. Currently, the use of biomass as a precursor to activated carbons has been highlighted due to its high availability and low cost, representing a viable and environmentally responsible alternative for obtaining value-added materials with potential applications.

### Keywords:

Activated carbon, biomass, pyrolysis, chemical activation, physical activation

---

### Resumen:

Los carbones activados han sido reconocidos como uno de los materiales adsorbentes más ampliamente utilizados. La utilidad de estos materiales depende principalmente de la superficie química y de su estructura de porosa. El método de activación y la naturaleza del precursor utilizado influyen en gran medida en los grupos funcionales de la superficie y en la estructura de poros del carbón activado. Las características químicas mencionadas, hacen que los carbones activados sean materiales muy versátiles con numerosas aplicaciones en diversas áreas. Actualmente se ha destacado el uso de la biomasa como precursor de carbones activados por su elevada disponibilidad y bajo costo, como alternativa viable y ambientalmente responsable para la obtención de materiales de valor agregado y potencial aplicación.

### Palabras Clave:

Carbón activado, biomasa, pirólisis, activación química, activación física

---

### Introducción

El carbón activado es uno de los materiales más versátiles y actualmente es considerado un producto muy cotizado debido a sus innumerables aplicaciones en áreas muy diversas tales como catálisis, electroquímica, medicina, industria biofarmacéutica, medio ambiente, entre otras [1,2].

Una de las aplicaciones principales del carbón activado es en procesos de adsorción tanto en fase acuosa como gaseosa [1]. Así, la literatura menciona su aplicación en el tratamiento de aguas, en la eliminación de olores y sabores, como agente decolorante en la industria del azúcar, en máscaras para la adsorción de gases tóxicos, para eliminar o recuperar compuestos orgánicos tóxicos

de las aguas, en la purificación del aire, en la industria química, en la industria farmacéutica, en la purificación de gases, en la decoloración de azúcares, vinos y licores, en la eliminación de cloro libre en agua potable, en el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, en el tratamiento de agua potable y renovación de aguas residuales, en la recuperación de oro y en estudios de separación de níquel-cobalto [3,5]. El éxito del carbón activado en estas áreas se debe principalmente a su extensa área de superficie y a diversas funcionalidades químicas que pueden modificarse tanto durante como después del proceso de producción [1,2].

En las últimas décadas, la industria del carbono ha producido millones de toneladas de carbón activado, que consumen toneladas de precursores como el carbón mineral y la madera [1]. Hoy en día se prefiere la

---

<sup>a</sup> Roberto Antonio Canales-Flores, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Preparatoria Número Dos | Tulancingo-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-7478-6830>, Email: roberto\_canales8453@uaeh.edu.mx

producción de carbón activado a partir de biomasa residual como alternativa ambientalmente responsable para el tratamiento de desechos y la generación de productos de alto valor comercial.

### Carbón activado

Carbón Activado es un término que se utiliza para describir materiales a base de carbón con una estructura porosa interna bien desarrollada (Figura 1). Es un material que se caracteriza por ser carbonoso, microcristalino y no grafitico el cual preparado por un proceso de carbonización teniendo como precursores materiales orgánicos, los cuales son sometidos a procesos de activación con el objetivo de aumentar su porosidad y desarrollar su superficie interna, potenciando así su capacidad como adsorbente [2,6].

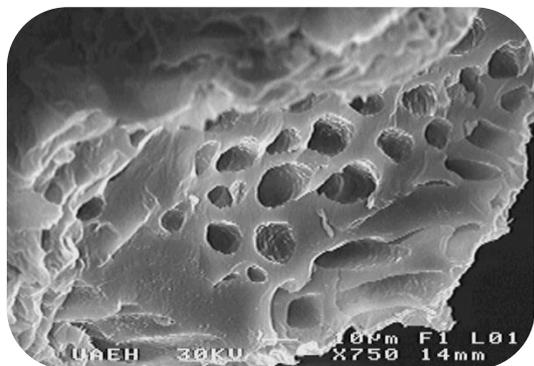


Figura 1. Microfotografía de la estructura porosa del carbón activado.

### Propiedades y estructura del carbón activado

Son materiales que presentan propiedades específicas de gran interés, tales como estabilidad térmica, resistencia al ataque ácido, carácter hidrófobo, bajo costo relativo y especialmente una estructura porosa, propiedad que ha propiciado el aumento en el número de investigaciones destinadas a su producción y aplicación [1,2,5].

En relación a su estructura, el carbón activado consiste de arreglos distintos de átomos de carbono con hibridación  $sp^2$ , los cuales pueden conformar dos tipos de estructuras: el grafito, que está compuesto por anillos hexagonales de carbono; y carbono no grafitizante el cual tiene una estructura que consiste de fragmentos curvos que contienen pentágonos, hexágonos y otros anillos de carbono. Estas láminas de carbono grafitado y/o no grafitado están orientadas al azar, dejando espacios vacíos entre cada fragmento, la cual genera la estructura de poro en el carbón activado [1,2].

Los carbones activados son conocidos por se

r materiales adsorbentes muy efectivos debido a su estructura porosa altamente desarrollada, la cual de acuerdo con la IUPAC consiste de *microporos* si el diámetro de poro es menor a 2 nm, *mesoporos* si el diámetro de poro está entre 2 y 50 nm, y *macroporos* si el diámetro de poro es mayor a 50 nm. Así, la idoneidad de un carbón activado para una aplicación determinada depende de que la proporción de poros desarrollada sea de un tamaño particular. Por tanto, los carbones activados altamente microporosos son preferibles generalmente para la adsorción de gases y vapores, mientras que la meso y macroporosidad bien desarrollada es preferible para la adsorción de solutos a partir de soluciones [1]. De igual manera, estos materiales se caracterizan por tener grandes áreas de superficie las cuales pueden ser desde 500 hasta 3000  $m^2/g$  [2,8] y también por tener características químicas en su superficie determinadas en gran parte por un cierto grado de heterogeneidad química relacionada con la presencia de heteroátomos tales como oxígeno, nitrógeno, hidrógeno, azufre y fósforo. El tipo y la cantidad de estos elementos, depende de la naturaleza del precursor y del proceso de activación [2,6].

La alta reactividad química de los carbones activados es debida a un amplio espectro de grupos funcionales y a electrones deslocalizados que determinan el carácter ácido a básico de la superficie del carbón activado [6]. En este sentido, el carácter ácido de las superficies de los carbones activados está estrechamente relacionado con grupos que contienen oxígeno tales como las funcionalidades carboxilo e hidroxilo fenólico; mientras que la basicidad puede estar asociada por un lado con la resonancia de los electrones  $\pi$  de los anillos aromáticos de carbono que atraen a los protones, y por otro lado a los grupos cromoeno, cetona, pirona y funcionalidades nitrogenadas, como se observa en la Figura 2 [1,2].

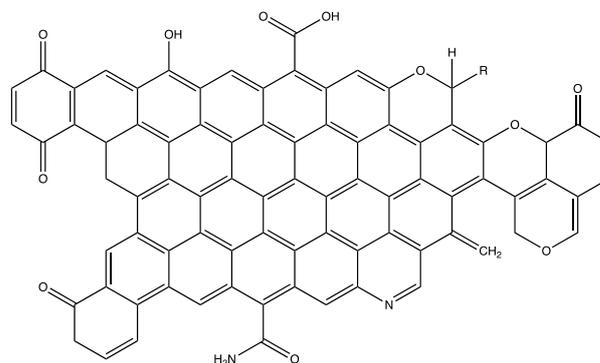


Figura 2. Grupos funcionales presentes en la estructura del carbón activado.

### Biomasa como precursor de carbones activados

Según la literatura, la biomasa es un producto biológico complejo, orgánico o no orgánico que proviene de un organismo vivo o recientemente vivo y que está disponible de forma natural. En un contexto químico, la biomasa es una composición compleja de carbono, oxígeno, azufre, nitrógeno, cenizas y pequeñas cantidades de algunos otros elementos que incluyen metales alcalinos, metales alcalinotérreos y metales pesados [1].

Actualmente, la biomasa representa una de las fuentes alternativas de energía más prometedoras que puede resolver el problema de la crisis energética en el mundo hasta cierto punto debido a su potencial disponibilidad. Además, el uso de biomasa también puede reducir el problema del calentamiento global y la contaminación al representar una alternativa viable para la obtención de otros productos de valor agregado [1].

Entre los procesos de valorización de la biomasa, su conversión por medios termoquímicos parece ser una alternativa prometedora para diversas aplicaciones energéticas y para la obtención de nuevos materiales. Los procesos termoquímicos más actuales (que consisten en una conversión de la biomasa por acción del calor) son *la gasificación, la pirólisis y la combustión* como se muestra en la Figura 3 [1,9].

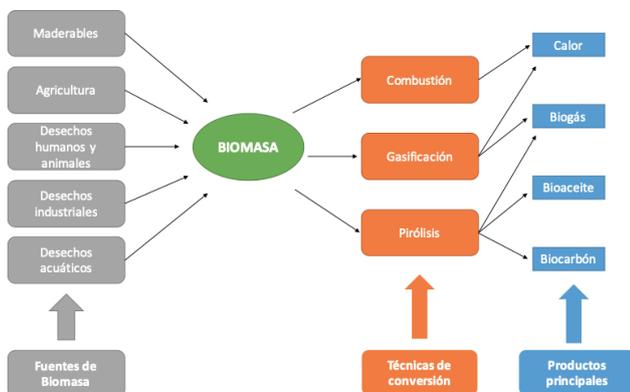


Figura 3. Técnicas de conversión de biomasa.

La *combustión* es el proceso en el cual la energía química almacenada en la biomasa se obtiene en forma de calor por su quema directa en presencia de oxígeno/aire. A través de este proceso se asegura la oxidación completa de la biomasa ya que se lleva a cabo en el rango de temperaturas de 800-1000 °C. En contraste, la *gasificación* constituye un proceso termoquímico en el cual los componentes carbonosos de la biomasa se transforman en combustible gaseoso bajo atmósfera de oxígeno, aire, nitrógeno, dióxido de carbono, vapor o mezclas de estos gases a temperaturas elevadas que oscilan entre los 700 °C y 900 °C. A diferencia de la combustión, la gasificación es un proceso de oxidación parcial que extrae la energía

presente en la biomasa y la almacenada en los enlaces químicos de sus constituyentes, en forma de productos gaseosos. Por otro lado, la *pirólisis* es uno de los procesos más eficientes y efectivos para obtener energía en forma de carbón a partir de la biomasa y se define propiamente como un proceso termoquímico en el cual la biomasa es térmicamente degradada en sus constituyentes químicos bajo atmósfera inerte o bajo condiciones estequiométricas muy bajas de oxígeno [1,2].

### Preparación de carbones activados

En relación a la preparación de carbones activados, dos son los pasos principales que están involucrados en la preparación de estos materiales (Figura 4): la pirólisis del precursor a temperaturas inferiores a los 800 °C en ausencia de oxígeno, y la activación en la que se desarrolla su área superficial a través de la conformación de estructura porosas [5]. El proceso de pirólisis permite enriquecer el contenido de carbono en la biomasa a través de la descomposición térmica y la eliminación gradual y controlada de componentes volátiles no constituidos por carbono [5]. Durante este proceso parámetros de proceso como la temperatura, la velocidad del calentamiento, la velocidad del flujo de nitrógeno y el tiempo tienen un efecto significativo [5]. Por ello, Tripathi y sus colaboradores [1] indican que temperaturas elevadas en esta etapa (400-1000 °C) resultan en la disminución del rendimiento de carbón e incremento de la velocidad de liberación de gases y líquidos presentes en el precursor. Por tanto, deben emplearse bajas velocidades de calentamiento a fin de obtener baja volatilización y altos rendimientos de carbón, y también para que se promueva la deshidratación y se mejore la estabilidad de los componentes poliméricos del precursor durante el proceso. En contraste, el proceso de activación tiene como objetivo mejorar el volumen de poro, agrandar el diámetro de poros y aumentar la porosidad desarrollada en la carbonización [5].

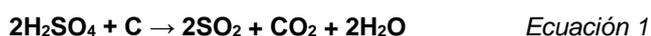
Aunado a lo anterior, el carbón activado puede producirse a partir de una gran variedad de materias primas, principalmente por dos métodos de activación: la activación física y la activación química. La activación física se realiza en dos pasos, los cuales involucran la carbonización de un material carbonoso en el rango de 400-850 °C y algunas veces hasta 1000 °C, seguida por la activación del material resultante a temperaturas entre 600°C y 900 °C en presencia de gases tales como CO<sub>2</sub>, vapor, aire o mezcla de gases. En cambio, en la activación química, la carbonización y la activación se llevan a cabo simultáneamente, ya que el precursor se mezcla con agentes de activación que cumplen la función de actuar como agentes deshidratantes y oxidantes a la vez, lo cual

resulta en el desarrollo de mejores estructuras porosas en los carbones activados [1].

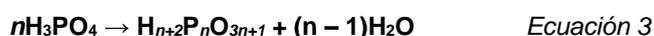


Figura 4. Esquema metodológico general para la obtención de carbones activados.

De acuerdo con la literatura, el agente de activación juega un papel muy importante en el rendimiento y capacidad adsorbente de los carbones activados obtenidos. En este sentido, Foo y Hameed [10] mencionan que la adición de ácido sulfúrico durante el proceso de activación puede retrasar la formación de alquitranes, promover la introducción de grupos funcionales con oxígeno en su estructura (Ecuación 1) e inducir la formación de complejos estables C–O; sin embargo, mencionan que los rendimientos utilizando este activante pueden ser relativamente bajos ya que el vapor proveniente de la deshidratación puede incrementar el carbón quemado (Ecuación 2).



De forma similar, la activación con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  puede mejorar las propiedades adsorbentes del carbono carbonizado. De acuerdo con los mismos autores [10], el ácido fosfórico puede actuar como un catalizador que promueve la hidrólisis, deshidratación y condensación, así como reacciones de entrecruzamiento que mejoran las características estructurales del carbón. Asimismo, durante el proceso de activación moléculas de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  pueden transformarse en ácidos polifosfóricos ( $\text{H}_{n+2}\text{P}_n\text{O}_{3n+1}$ ) y agua, que aceleran la carbonización de los componentes volátiles, resultando en el aumento de la porosidad (Ecuaciones 3 y 4).



Bajo el panorama anterior, se observa claramente la gran importancia y utilidad actuales que tienen los carbones activados en diversos ámbitos.

## Conclusión

El carbón activado es un material poroso, carbonoso y con gran área superficial; es capaz de adsorber una gran diversidad de sustancias tanto gaseosas como líquidas, y es conocido por sus propiedades adsorbentes. Asimismo, los residuos lignocelulósicos generados de las actividades industriales y agrícolas pueden ser utilizados como precursores para la obtención de productos potencialmente útiles y con mayor valor agregado dando así pauta a su aprovechamiento económico y científico. No obstante, se destaca que a pesar de que los residuos agrícolas y forestales han encontrado usos como materia prima en otras aplicaciones, hay una gran cantidad de tales residuos que se producen cada año y que requieren la eliminación, lo cual conduce a un problema ambiental. Por tanto, una opción viable y ambientalmente responsable es la conversión de este tipo de residuos en carbones activados, mismos que pueden ser aplicados y evaluados en diversos problemas de contaminación ambiental. Finalmente, lo expuesto en este escrito muestra que el desarrollo de materiales carbonosos constituye actualmente un área de gran impacto científico y tecnológico.

## Referencias

- [1] Tripathi M, Sahu JN, Ganesan P. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 55: 467–481.
- [2] Abbas H, Kawther W. Competitive adsorption of furfural and phenolic compounds onto activated carbon in fixed bed column. *Environmental Science Technology* 2018; 42(2): 392–397.
- [3] Salas D, Marzal N, Penedo M. Estudio preliminar de la adsorción de níquel y Cobalto utilizando carbón vegetal de conchas de coco. *Tecnología Química* 2012; 32(2): 166–176.
- [4] Mohamad N, Lau LC, Lee KT, Mohamed AR. Synthesis of activated carbon from lignocellulosic biomass and its applications in air pollution control-a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2013; 1(4): 658–666.
- [5] Bhatnagar A, Hogland W, Marques M, Sillanpää M. An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. *Chemical Engineering Journal* 2013; 219: 499–511.
- [6] Abdullah MO, Tan IAW, Lim LS. Automobile adsorption air-conditioning system using oil palm biomass-based activated carbon: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011; 15(4): 2061–2072.
- [7] Rivera J, Sanchez M, Gomez V, Alvarez PM, Alvim MC, Dias JM. Activated carbon modifications to enhance its water treatment applications. An overview. *Journal of Hazardous Materials* 2011; 187: 1–23.
- [8] Collard FK, Blin J. A review on pyrolysis of biomass constituents: Mechanisms and composition of the products obtained from the

conversion of cellulose, hemicelluloses and lignin. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2014; 38: 594–608.

- [9] Foo KY, Hameed BH. Potential of activated carbon adsorption processes for the remediation of nuclear effluents: a recent literature. *Desalination and Water Treatment* 2012; 41: 72–78.