



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

**ANÁLISIS DE LA BALANZA COMERCIAL, USOS Y
TECNOLOGÍA DEL CARBÓN ACTIVADO EN MÉXICO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

Maestro en Ciencias en CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES
JUAN CARLOS ORDAZ HERNANDEZ

**Noviembre 2006
Chapingo, México**



**DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**



BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

ANÁLISIS DE LA BALANZA COMERCIAL, USOS Y TECNOLOGÍA DEL CARBÓN ACTIVADO EN MÉXICO.

Tesis realizada por el Ing. Juan Carlos Ordaz Hernández bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



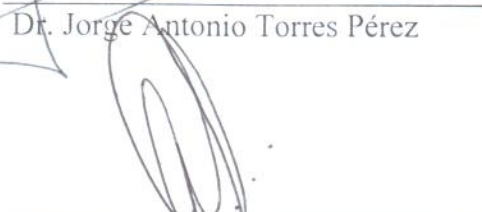
Dr. Leonardo Sánchez Rojas

ASESOR:



Dr. Jorge Antonio Torres Pérez

ASESOR:



Dr. Enrique Serrano Galvez

Chapingo, Estado de México, Noviembre de 2006.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y División de Ciencias Forestales, por considerarme dentro de su programa de postgrado y haberme brindado la oportunidad de obtener el grado de maestro en ciencias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por haberme proporcionado el apoyo económico necesario para poder cumplir mi formación de postgrado.

Al Dr. Alejandro Robau Sánchez del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMA) por darme la confianza y apoyo con sus investigaciones y valioso material bibliográfico, necesario para el desarrollo de la presente tesis.

Al personal del Departamento de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara, Jalisco, por el apoyo en material bibliográfico y visita a su centro de investigación.

Al MC Juan Islas Gutiérrez del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) por su ayuda incondicional y asesorías tan atinadas.

A los maestros de la División de Ciencias Forestales y en especial a los del programa de postgrado que me impartieron sus conocimientos, valores e invaluable experiencia.

Y muy en especial al Dr. Leonardo Sánchez Rojas director de la presente tesis, maestro y amigo.

Al maestro Jorge Torres Pérez por su colaboración en el desarrollo de esta investigación.

Al maestro Enrique Serrano Gálvez por su colaboración y consejos desinteresados.

Al maestro, Miguel Ángel Pérez Torres por sus consejos, amistad y apoyo desinteresados.

Al maestro Ángel Leyva Ovalle, por su amistad y valiosos comentarios y consejos.

DEDICATORIAS

A Jehová Dios, por permitirme vivir, cumplir y compartir con mis seres queridos este momento de mi vida.

A mis padres Alejandro Ordaz López y Carmina Hernández Sagahón, por su incondicional apoyo y amor, a quienes debo todo lo que tengo y soy...

A mi esposa Areli Chacón Hernández, por su apoyo incondicional su tolerancia y amor que me impulsan y motivan a superarme cada día.

A mis hijos, Juan Estuard, Joan Benjamín y Jean Aldair por quienes el esfuerzo diario es un placer. LOS AMO

A mis hermanos Alejandro, Ambrosio, Serafín, Francisco, Estuardo y Elías, por ser mis hermanos, por ser como son y ser parte inherente en mi vida, por el apoyo en todos los sentidos cuando mas he necesitado.

A mis amigas y amigos J. Acosta, Luis M, Fermín, Alberto, Gaby, N. Coss, Alejandra, Lupita, Alejandro y Royman en especial a Leonardo, Martín, Ruperto, Mario y Marcos

Juan Carlos Ordaz Hernández.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació el 20 de mayo de 1978 en Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo. De 1984 a 1990 cursó el nivel primaria en la Escuela Primaria General “Melchor Ocampo” y colegio particular “Fray Pedro de Gante” ubicados en Metzquitlán, Hidalgo. En el periodo 1990 – 1994 realizó sus estudios de educación secundaria en la Escuela Secundaria Federal “Nicandro Castillo” en el mismo lugar. De 1994 a 1997 estudio el nivel medio superior en la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. En 1997 cursó en la División de Ciencias Forestales de esta misma Universidad su licenciatura, egresando en el año 2001 y obteniendo el título de Ingeniero Forestal Industrial con la tesis titulada “Análisis de la calidad del carbón vegetal de encino producido en horno tipo colmena brasileño en Huayacocotla, Veracruz, en el año 2003.

De julio de 2001 a diciembre de 2003 trabajó en diversos proyectos y actividades relacionadas con la actividad docente, de investigación y servicio.

De enero de 2004 a diciembre de 2005 estudio la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo.

ANÁLISIS DE LA BALANZA COMERCIAL, USOS Y TECNOLOGÍA DEL CARBÓN ACTIVADO EN MÉXICO

ANALYSIS OF TRADE BALANCE, USES AND TECHNOLOGY OF ACTIVATED CHARCOAL IN MEXICO

Ordaz Hernández Juan Carlos ¹

Sánchez Rojas Leonardo²

RESUMEN

Se compiló la información de tecnología y usos actuales del carbón activado más importantes en México, además se analizó la balanza comercial de este producto; para ello se aplicaron seis fórmulas e índices matemáticos y estadísticos cuyo uso es importante para diversas industrias. De los resultados obtenidos se encontró que México está decreciendo en sus tasas de crecimiento medio anual tanto de exportaciones como importaciones, muy contrario a lo que sugiere la bibliografía, encontrándose que los países con quien mantiene más comercio en el transcurso del tiempo estudiado es con Chile cuando exporta y con EUA cuando importa; además se encontró que Guatemala es quien más estable se mantuvo en cuanto a compras de carbón activado mexicano se refiere y es EUA quien domina las ventas hacia México, otros resultados fueron que el país cuenta con una industria intraespecífica, pero aún así es mayormente importador que exportador de un producto estratégico en el desarrollo de industrias diversas.

Palabras clave: Importación, Exportación, Industria Intraespecífica.

¹ Tesista

² Director de tesis

ABSTRACT

It was compiled the more important information of technology and present uses in Mexico, in addition it was analyzed the trade balance of the Activated Charcoal in Mexico, for it six mathematical and statistical formulate and indices were applied in a product whose use is important for diverse industries. Of the obtained results one was that; Mexico this decreasing in its rates of annual average growth as much of exports as imports, very in opposition to which it suggests the bibliography, in addition was whereupon the countries with that maintains but commerce in the course of the time are with Chile when it exports and with EUA when It matters, to more it was that Guatemala is the one who but stable stayed as far as Activated charcoal purchases Mexican and EUA that dominates the sales towards Mexico, other results were that in Mexico counts on a Intraespecifica Industry, but even so is mainly Importer who Exporter of a strategic product in the development of diverse industries.

Key words: Importation, Exportation, Intraespecific Industry

¹ Thesis author

² Thesis director

ÍNDICE

Página

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 General.....	4
2.2 Particulares.....	4
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 Antecedentes.....	5
3.2 Descripción, productos y propiedades.....	8
3.3 Generalidades del carbón activado (CA).....	16
3.3.1 Rango de tamaño de partícula más adecuado para cada aplicación.....	16
3.3.2 La capacidad de adsorción del carbón activado.....	18
3.3.3 Purificación en Fase Líquida.....	19
3.3.4 Purificación en Fase Gaseosa.....	19
3.3.5 Capacidad de adsorción del carbón activado.....	22
3.3.6 Precauciones.....	23
3.4 Métodos de obtención.....	23
3.4.1 Activación Química.....	24
3.4.2 Activación Física.....	25
3.4.3 Métodos de impregnación de plata en carbón activado.....	30
3.5 Materia Prima.....	31
3.6 Presentaciones y usos.....	36
3.6.1 Recuperación de solventes.....	43
3.6.2 Decoloración.....	44
3.6.3 Decoloración de vinos.....	45
3.6.4 Potabilizado de agua.....	46
3.6.5 Purificación de aire y gases.....	56
3.6.6 Eliminación de cloro libre.....	57
3.6.7 Uso médico.....	59
3.6.8 Eliminación de polifenoles.....	66
3.7 Situación mundial.....	70
3.7.1 Consumo, producción y expectativas de uso del carbón activado.....	70
3.8 Situación nacional.....	81
3.8.1 Consumo nacional de carbón activado.....	82
3.8.2 Empresas que exportan e importan carbón activado en México.....	86
3.8.3 Comportamiento de la producción.....	87
3.8.4 Precios de carbón activado.....	88
4. METODOLOGÍA.....	90
4.1 Fases de la investigación.....	90
4.2 Obtención de la información.....	90
4.3 Sistematización de la información.....	91
4.4 Procedimientos de cálculo de la balanza comercial.....	91
5. RESULTADOS.....	98
5.1 Parámetros estimados.....	98
5.2 Resultados estadísticos.....	99

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	139
6.1 Conclusiones.	139
6.2 Recomendaciones.	140
7. LITERATURA CITADA	143

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Propiedades de los distintos tipos de carbón según su origen.	35
2. Exportaciones de carbón activado de Estados Unidos en 1997.	78
3. Importaciones de carbón activado de Estados Unidos en 1997.	78
4. Consumo aparente de carbón activado en Estados Unidos.	79
5. Distribución del consumo en Estados Unidos en 1997.	79
6. Distribución del consumo por uso final para 1997	81
7. Consumo de CA por área geográfica.	81
8. Producción de CA por México en 1997	84
9. Consumo mexicano de CA en 1998.	85
10. Mercado organizacional del CA en México.	85
11. Consumo de CA para refinación de azúcar en 1998.	86
12. Relación de empresas que exportan o importan CA en México.	87
13. Exportación (en pesos) y tasa de crecimiento medio anual de carbón activado de México a distintos países.	100
14. Exportaciones promedio, en pesos, durante el periodo 2003 – 2005.	101
15. Porcentaje de exportaciones de carbón activado por año y por país en pesos.	103
16. Tasas de crecimiento medio anual de las importaciones mexicanas de Carbón Activado durante el periodo 1995 – 2005.	108
17. Importaciones Mexicanas Promedio de carbón activado durante el periodo 1995 – 2005.	110
18. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado en 1995.	112
19. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado de 1996.	113
20. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado de 1997.	114
21. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado de 1998.	115
22. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado de 1999.	115
23. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado de 2000.	116
24. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado de 2001.	117
25. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado de 2002.	117
26. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado de 2003.	118
27. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado de 2004.	119
28. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado de 2005.	119
29. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado totales del periodo 1995 – 2005.	120
30. Índice de Comercio Intraindustrial entre México y el mundo.	125
31. Índice de Comercio Intraindustrial entre México y EUA.	125
32. Índice de Comercio Intraindustrial entre México y Japón.	126
33. Índice Grado de Apertura aplicando el PIB Total.	126
34. Índice Grado de Apertura aplicando el PIB de la Industria Manufacturera.	127
35. Índice de Grado de Apertura aplicando el PIB Agropecuario, Silvicultura y Pesca.	128
36. Índice Grado de Apertura de Bela del total de flujo comercial.	129

Cuadro		Página
37.	Índice Grado de Apertura de Bela del flujo comercial con EUA.	130
38.	Índice Grado de Apertura de Bela del flujo comercial con Japón.	130
39.	Saldos entre la balanza comercial de carbón activado entre México y el mundo.	135
40.	Saldos entre la balanza comercial de carbón activado entre México y EUA	135
41.	Saldos entre la balanza comercial de carbón activado entre México y Japón.	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Microfotografía que muestra la porosidad del carbón activado.	10
2. Representación esquemática de la estructura de un carbón activo.	12
3. Diferente granulometría (tamaños) de carbón activado.	17
4. Distintas muestras de materia prima del carbón activado.	33
5. Maquina recuperadora de solventes con cama de carbón activado granular.	44
6. Productos modulados en su decoloración con carbón activado.	45
7. Planta tratadora de agua y potabilizadora.	47
8. Filtros de aire para interiores.	56
9. (a la derecha) Filtro de aire doméstico; (a la izquierda) mascarillas para filtrar aire.	56
10. Cápsulas de carbón activado en diferentes presentaciones.	60
11. Comprimidos de carbón activado en diferentes presentaciones.	60
12. Apósitos de carbón activado con plata.	61
13. Paciente en fase de recuperación por intoxicación con químicos	62
14. Jugos que requieren eliminación de polifenoles.	67
15. Exportaciones promedio de carbón activado de México hacia el mundo.	102
16. Porcentajes de exportaciones mexicanas de carbón activado durante el 2003.	104
17. Porcentajes de exportación mexicanas de carbón activado a diferentes países durante el 2004.	105
18. Porcentajes de exportaciones mexicanas de carbón activado a diferentes países durante el 2005.	106
19. Distribución relativa de importaciones mexicanas promedio de carbón activado, sin considerar a E. U. A.	111
20. Tendencia de las importaciones mexicanas de carbón activado por país..	120

BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

1. INTRODUCCIÓN

México en 1940 adoptó un modelo económico llamado Modelo de Industrialización por Sustitución de Importaciones (ISI) el cual duró varias décadas. Este modelo tuvo como objetivo, proteger a la industria del país; puesto que si no se tenía la presencia de bienes importados circulando en el mercado mexicano, únicamente existiría la opción de consumir los bienes producidos internamente, y así se daría un impulso al mercado nacional (Coss, 2000).

En consecuencia algunas compañías mexicanas en 1960 comenzaron a producir carbón activado que dejó de ser un producto de importación exclusivamente (Gutiérrez y Rubio, 1985; Cordero, 1979). Entre 1960 y 1979 las compañías: Polifos S.A. de C. V. (Subsidiaria de Química Hooker), Clarificantes de México S. A. y Nobrac, S.A. produjeron carbón activado (Clarimex, 2005; Norit, 2005 y Cordero, 1979), logrando una producción de 5,500 toneladas en 1979. Actualmente se ha incrementado el número de empresas productoras de carbón activado (Secretaría de Economía, 2006) pero, aún así la producción en México no satisface la demanda interna de este producto. Por lo que es importante continuar realizando investigación sobre los materiales carbonizables, ya que aún no se ha logrado convertir la totalidad del potencial de materia prima como lo es el aserrín para la producción de carbón activado (Béjar *et al.*, 2003) y aún se sigue importando gran cantidad de éste (CONACYT, 2005).

Además dadas las características específicas de los carbones activados, constantemente se registran en el mercado notables incrementos en su consumo y se diversifican sus aplicaciones. En el amplio campo de la tecnología química, se espera que México tenga tasas de crecimiento por encima del 5 ó 6%, debido sobre todo al consumo de su mercado más grande, que es el tratamiento de aguas (Roskill, 2005).

Actualmente se usan carbones activados como soporte de catalizadores y como adsorbente en refrigeración, considerándose su uso como una solución definitiva para reducir significativamente y de forma permanente la toxicidad, los riesgos en el manejo de sustancias peligrosas y la contaminación de agua o aire. Usándose también en tratamientos alternativos para los mismos fines (Smisek and Slavo 1990; Moreno, 2006 y Cheremisinoff, 1978).

Al ser la producción de carbón activado una alternativa para convertir los desperdicios de la industria maderera, evitando contribuir al grave problema ambiental, y a la vez ser un bien usado en tan importantes industrias como la refinación del azúcar, purificación de agua y aire, así como otros usos, es importante conocer las potencialidades comerciales de dicho bien conociendo sus flujos comerciales, su mercado y analizando su situación macroeconómica

Al producir este bien se generan nuevos empleos y divisas para el país, evitando importaciones de este producto y se aprovecha la exportación de un

producto con alto valor agregado y con alto potencial de consumo en el extranjero (CONACYT, 2005).

Antes de dar inicio con la producción de carbón activado, es importante, contar con información estadística confiable acerca del mercado, de sus potencialidades y sobre todo de información que valore las tendencias y situaciones del mismo, lo cual redundará en el éxito de emprender nuevos proyectos de este bien. La presente investigación tiene como objetivo hacer una compilación de los conocimientos de los usos y tecnologías de este producto para identificar los mercados potenciales del carbón activado así como el comportamiento de su balanza comercial (Roskill, 2005).

2. OBJETIVOS

2.1 General

Diagnosticar las tecnologías, usos y balanza comercial del carbón activado en México, a fin de sentar las bases para futuros estudios de mercado.

2.2 Particulares.

Hacer una compilación y estructurar los conocimientos de las técnicas y usos actuales del carbón activado.

Analizar la balanza comercial del carbón activado en México.

3. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

3.1 Antecedentes

El carbón activado ha sido utilizado desde tiempos remotos como adsorbente durante centurias (2000 a. C). Los egipcios descubrieron que el carbón de madera podía utilizarse para purificar productos como el agua e incluso el alcohol como material para usarse con fines medicinales (Kirck and Othmer, 1993; Cunha, 2002; Jimaja, 2003; Robau, 2004 a; Ochoa, 2005 y Bossio, 2005). Los griegos utilizaron el carbón de madera para el tratamiento de alimentos. Más tarde, en el siglo XVIII se aplicó en la desodorización de la gangrena. El descubrimiento e importancia de estos adsorbentes se debieron a Scheele en 1773, al estudiar la adsorción de gases por un carbón (Smisek y Cerny, 1970 citados por Martín, 1990). Desde entonces, estos materiales fueron cobrando importancia aunque no fue hasta 1900 cuando Ostrejko (1900), los preparó comercialmente con fines industriales. A partir de entonces, la preparación de carbón activado ha sido orientada hacia determinadas aplicaciones para procesos muy específicos. Hasta el siglo veinte se desarrolló el verdadero carbón activado y fue usado para decoloración de azúcar y máscaras anti gas. Ambas aplicaciones continúan en la actualidad. En los años 60, varias plantas de tratamiento de aguas empezaron a utilizar el carbón activado en polvo (PAC) o el carbón activado granular (GAC) para el tratamiento del sabor y del olor. Actualmente, el carbón activado se utiliza en cientos de aplicaciones diferentes,

tanto para sistemas de vapor como para tratamiento de líquidos (Kenneth, 2003 y Cunha, 2002).

Sin embargo, el factor decisivo para que tomase importancia la aplicación de los carbones activados fue el uso de las sustancias químicas durante la primera y segunda guerra mundial. Países como, Estados Unidos de América, Francia, Inglaterra y Alemania países que tomaron parte en ellas iniciaron la fabricación de máscaras anti-gas que usaban carbones activados para adsorber las sustancias tóxicas (Kenneth, 2003; Kirck and Othmer, 1993 y Ochoa, 2005). En Francia se carbonizaba el aserrín con ácido sulfúrico y el residuo era lavado y activado por calentamiento. En América se usaba la cáscara de coco y se activaba con vapor de agua (Cheremisinoff, 1978 y Gutiérrez y Rubio, 1985). En la actualidad se ha diversificado el uso de los carbones activados en prácticamente todas las industrias.

Con la adopción del modelo económico llamado Modelo de Industrialización por Sustitución de Importaciones (ISI), uno de cuyos fundamentos consistió en mantener la economía del país altamente protegida, México trató de disminuir o eliminar las importaciones, principalmente de bienes industriales, los cuales deberían ser producidos internamente como base para el desarrollo industrial interno, ello implicó el fortalecimiento de un proteccionismo del Estado (Coss, 2000).

Este modelo, tuvo como objetivo, proteger a la industria del país; puesto que si no se tenía la presencia de bienes importados circulando en el mercado mexicano, únicamente existiría la opción de consumir los bienes producidos internamente, así se daría un impulso al mercado nacional (Coss, 2000).

Es en 1960 cuando México comenzó a producir el carbón activado que dejó de ser un producto de importación exclusivamente (Gutiérrez y Rubio, 1985 y Cordero, 1979). Entre 1960 y 1979 las compañías; Polifos S.A. de C. V. (Subsidiaria de Química Hooker), Clarificantes de México S. A. y Nobrac, S. A. produjeron carbón activado (Clarimex, 2005; Norit, 2005 y Cordero 1979) logrando una producción de 5 500 toneladas. En 1979, se incrementó el número de empresas productoras de carbón activado (Secretaría de Economía, 2006) pero, aun así la producción del país no satisfacía plenamente la demanda interna de este producto.

Recientemente, México ha seguido el ejemplo de los países desarrollados, en materia de tratamiento de agua. El primer paso se dio en 1995, con la publicación de una Norma Oficial sobre agua para uso y consumo humano, que fija los límites permisibles de calidad y tratamiento del agua para su potabilización. Esta regla, y la actual corriente mundial de preservación ecológica, han preparado el camino de expansión a un sinnúmero de empresas ligadas al tratamiento del agua (Javier, 1998).

Por lo pronto, las empresas refresqueras y embotelladoras, ya están conscientes del cambio. Grandes empresas muestran una tendencia total hacia la satisfacción de las normas internacionales, con el fin de abrir sus productos a otros mercados (Javier, 1998).

Dadas las características específicas de los carbones activados, constantemente se registran en el mercado notables incrementos en su consumo y se diversifican sus aplicaciones en el amplio campo de la tecnología química (Javier, 1998, Roskill, 2005 y Levin, 1993).

3.2 Descripción, productos y propiedades

Polvo negro, muy fino, inodoro, insípido, libre de gránulos. También descrito como el material preparado de materia vegetal como aserrín, turba, residuos celulósicos y cáscaras de coco por procesos de carbonización que intentan conferirle un alto grado de poder adsortivo. Otra descripción lo define como el residuo de la destilación destructiva de varios materiales orgánicos, tratados por flujo de gas oxidante a alta temperatura para producir una red de finos poros y aumentar su poder adsortivo (Piola, 2004).

El carbón activado es carbón poroso que se produce artificialmente, de manera que exhiba un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna (Figura 1). Estas características, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo conforman, le dan la propiedad de atraer y atrapar de manera

preferencial ciertas moléculas del fluido que rodea al carbón (Clarimex, 2005 y Groso-Cruzado, 1997). A esta propiedad se le llama adsorción; al sólido se le denomina "adsorbente" y a la molécula atrapada, "adsorbato". La unión entre el carbón y el adsorbato se lleva a cabo por medio de fuerzas de London, que son unas de las clases de fuerzas de Van der Waals las cuales son relativamente débiles y, por lo tanto, reversibles (Clarimex, 2005). Por lo que a cualquier tipo de carbón que posea capacidad adsorbtiva, ya sea de gases, vapores, o sustancias disueltas en líquidos es denominado carbón activado (Hassler, 1951).

El carbón activado, por ser un compuesto covalente, muestra preferencia por moléculas que tienden a ser no iónicas y poco polares. Tal es el caso de la mayoría de los compuestos orgánicos. Por lo tanto, el carbón activado se considera un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas (Clarimex, 2005). Debido a lo anterior una de las principales aplicaciones del carbón activado es la purificación de líquidos y gases contaminados con alguna molécula orgánica (Clarimex, 2005 y Groso-Cruzado, 1997).

Además lejos de contaminar absorbe los contaminantes, de allí sus múltiples aplicaciones clasificándose en tres rubros según su uso (fase líquida o gaseosa), presentación (granular o en polvo) y porosidad cuya estructura es una red de micro, medio y macro poros (Figura 1).

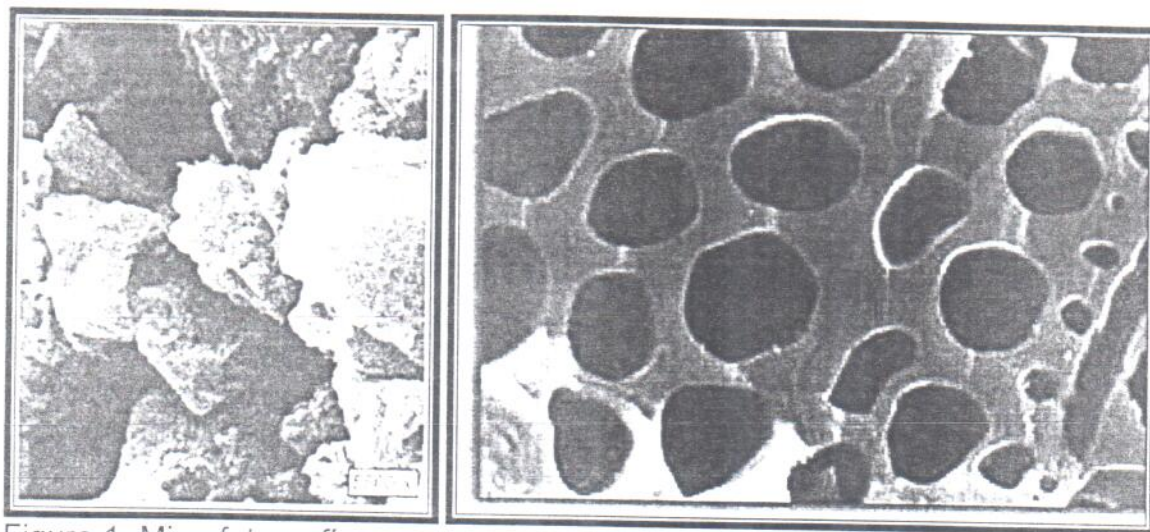


Figura 1. Microfotografía que muestra la porosidad del carbón activado.
Fuente: CIMAV, Chihuahua. 2005.

Este material de color negro e insoluble en agua, con diversos grados de dureza (como carbón granular), inflamable quema lentamente sin llamas, con alta capacidad de adsorber gases. Es el adsorbente por excelencia y se aplica en todo proceso donde sea necesario separar una sustancia de interés de un contaminante, reteniendo en el carbón activado el primero o el segundo (Robau, 2004 b y Brasilac, 2005).

Los carbones activos (o activados) se pueden considerar como el contrapunto de las dos estructuras perfectamente ordenadas de las dos formas alotrópicas del carbono (diamante y grafito). Tanto es así, que durante mucho tiempo han sido considerados como carbones amorfos, a diferencia del carbono cristalino, que incluía al diamante y al grafito (Martín, 1990).

Hoy día se sabe que lo anterior no es totalmente cierto porque el carbón activo (como otros carbones considerados amorfos) posee una estructura

microcristalina (Juntgen, 1977) que, dependiendo de las condiciones de preparación, se parece en mayor o menor grado a la del grafito y que recibe el nombre general de estructura "turbostrática". Este término ha sido criticado por no distinguir entre carbón grafitizable y no grafitizable, pero su utilización suele ser frecuente. En general, un carbón activo está constituido por microcristales elementales en los que los planos hexagonales no están bien orientados, sino desplazados unos respecto a otros y solapados entre sí, por lo que presentan un elevado porcentaje de su estructura altamente desordenada. De hecho se produce el plegamiento de láminas hexagonales dejando huecos de diferente tamaño (generalmente menores de 2 nm) según se aprecia en la Figura 2.

Como consecuencia de la diferencia estructural entre un carbón activo y el diamante o el grafito la extensión de la superficie del sólido accesible a los gases es muchísimo mayor. En el caso del diamante, dada su estructura rígida y compacta, sólo la superficie externa de las partículas es accesible a la fase gaseosa o líquida. Cuando se trata de grafito, la estructura menos perfecta de los cristales, así como la existencia de bordes o de paquetes en las láminas hacen que la superficie disponible al contacto con el fluido gaseoso o líquido sea mayor que con el diamante. Por supuesto que, en ambos casos, cuanto mayor sea el grado de división de las partículas, mayor será la superficie accesible (Martín, 1990).

En el caso de los carbones activos, el proceso de activación que implica la desaparición de carbono y otras sustancias volátiles, hace que se forme un gran

número de poros, lo que lleva consigo que la superficie interna, debida a las paredes de los poros, sea muy elevada en comparación con la superficie externa o geométrica. Es entonces que la característica más importante, como ya se ha dicho, de estos materiales es su elevada capacidad adsorbente, basada esencialmente en una estructura porosa muy desarrollada (Dubinin, 1966).



Figura 2. Representación esquemática de la estructura de un carbón activo
Fuente: Martín, 1990.

Por otro lado, como resultado de los procesos de carbonización y activación se obtienen carbones activos con unas características porosas que vienen determinadas por varios factores tales como material de partida (Juntgen, 1977), temperaturas y tiempos de carbonización y activación (Hassler, 1963 y Millet, 1965), velocidad de calentamiento, tamaño de las partículas del material de partida, etc. En el proceso final se obtendrá el carbón activo adecuado al proceso para el que se quería preparar.

En realidad, una de las propiedades más interesantes de los carbones activos es, sin duda, el hecho de ser adsorbentes poco selectivos. La razón de ello se encuentra en que en el procedimiento de preparación se producen poros de tamaños muy dispares (Mattson, y Mark, 1971). Tanto es así, que la producción actual de carbones activos trata esencialmente de encontrar el rango de porosidad más adecuado para lograr aplicaciones industriales específicas.

Si se pretende buscar un carbón activo que sea adecuado para un proceso en disolución, tal como decoloración o como agente clarificante, interesarán poros relativamente grandes, que permitan fácilmente el contacto líquido-carbón. Si, en cambio, lo que se busca son carbones adecuados para retención de gases, tales como eliminación de gases tóxicos, interesarán poros muy pequeños para producir un mejor contacto gas-carbón (Martín, 1990).

En la preparación de un carbón activo hay que buscar la relación apropiada, según se deduce de lo anterior, entre los poros de transporte y los de adsorción, es decir, hay que conseguir un rápido transporte del adsorbato hasta la superficie interna y, al mismo tiempo, obtener una alta superficie interna lo suficientemente desarrollada como para asegurar una capacidad adsorbente. En cada caso, las propiedades del carbón activo van a depender de la materia prima, su tratamiento previo y las condiciones de activación (Martín, 1990).

En términos generales los carbones activados se clasifican en dos grandes grupos (Clarimex, 2005):

Carbones para purificación en FASE LIQUIDA.

Carbones para purificación en FASE GASEOSA.

Las propiedades más importantes a considerar al seleccionar un carbón son el diámetro de los poros y las características de los mismos. Los poros de un carbón activado se clasifican en tres, de acuerdo a su tamaño (Clarimex, 2005 y Groso-Cruzado, 1997): microporos, poros medios (mesoporos) y macroporos.

Los microporos son poros con un radio de $20 \text{ \AA}$ (ángstrom) ó menos y son los que más área proporcionan. Son útiles para adsorber moléculas muy pequeñas, que generalmente se encuentran presentes en purificaciones de gases.

Los poros medios se ubican en el rango de $20\text{-}500 \text{ \AA}$ y aunque su contribución al área total es menor que los microporos, su tamaño les permite adsorber moléculas grandes que por lo general están presentes en purificaciones de líquidos.

Los macroporos casi no contribuyen al área total de un carbón pero su importancia radica en que actúan como vías de acceso a los poros medios y microporos, afectando la velocidad de difusión de las impurezas en el carbón, estos cuentan con poros en un rango de poros mayores de $500 \text{ \AA}$ y hasta $100,000 \text{ \AA}$.

El área de superficie (AS) del carbón activado varía de 500 a 2,500 metros cuadrados por gramo (m^2/g), dependiendo de la materia prima y del proceso de activación.

Desafortunadamente el área total y el tamaño de los poros no son fáciles de medir, y en consecuencia se suelen utilizar algunos índices como (Groso-Cruzado, 1997):

El índice de iodo.

El índice de melaza.

El índice de azul de metileno.

El índice de tetracloruro de carbono.

El índice de butano.

Estos índices dan una idea de que tan fácil se adsorben las moléculas de distintos tamaños, por lo que son indicadores de los tipos de poros que tiene un carbón activado. Normalmente, es difícil que un carbón tenga poros de un solo tamaño, lo que tiene es una determinada distribución. Cuando la media se inclina hacia los microporos se dice que el carbón es de "fase gaseosa"; en caso contrario, el carbón será para "fase líquida" (Clarimex, 2005).

3.3 Generalidades del carbón activado

El carbón común vegetal o mineral no está activo y contiene muchas sustancias relleno su porosidad. Cuando el carbón es usado y se llena de estas sustancias, produce o genera calor. Cuando el carbón activado se produce con base en carbón calentado es a temperaturas muy altas por arriba de unos 1000 °C. Las sustancias salen en forma de gas y dejan el carbón, quedando una estructura porosa (Jimaja, 2003).

3.3.1 Rango de tamaño de partícula más adecuado para cada aplicación

La capacidad de un carbón activado no aumenta por más pequeño que sea su tamaño de partícula. Esto se debe a que, por más fino que se muele un carbón, su área superficial prácticamente no aumenta (el área superficial se da a un nivel molecular inalterable por métodos mecánicos). No obstante, la cinética (velocidad de adsorción) sí aumenta sustancialmente al disminuir el tamaño de partícula del carbón. Esto se traduce en que, mientras menor es el tamaño de partícula de un carbón, se requieren camas más pequeñas para lograr un determinado desempeño, y por otro lado, mientras menor es el tamaño de partícula de un carbón granular, mayor es la caída de presión y, por lo tanto, aumenta el costo para lograr el flujo a través del mismo. De lo anterior, se concluye que en todos los casos se debe usar el menor tamaño de carbón, siempre y cuando sea mayor el beneficio de requerir una cama pequeña

aunque se incremente el costo de hacer circular el fluido a través de la misma (Clarimex, 2005) (Figura 3).

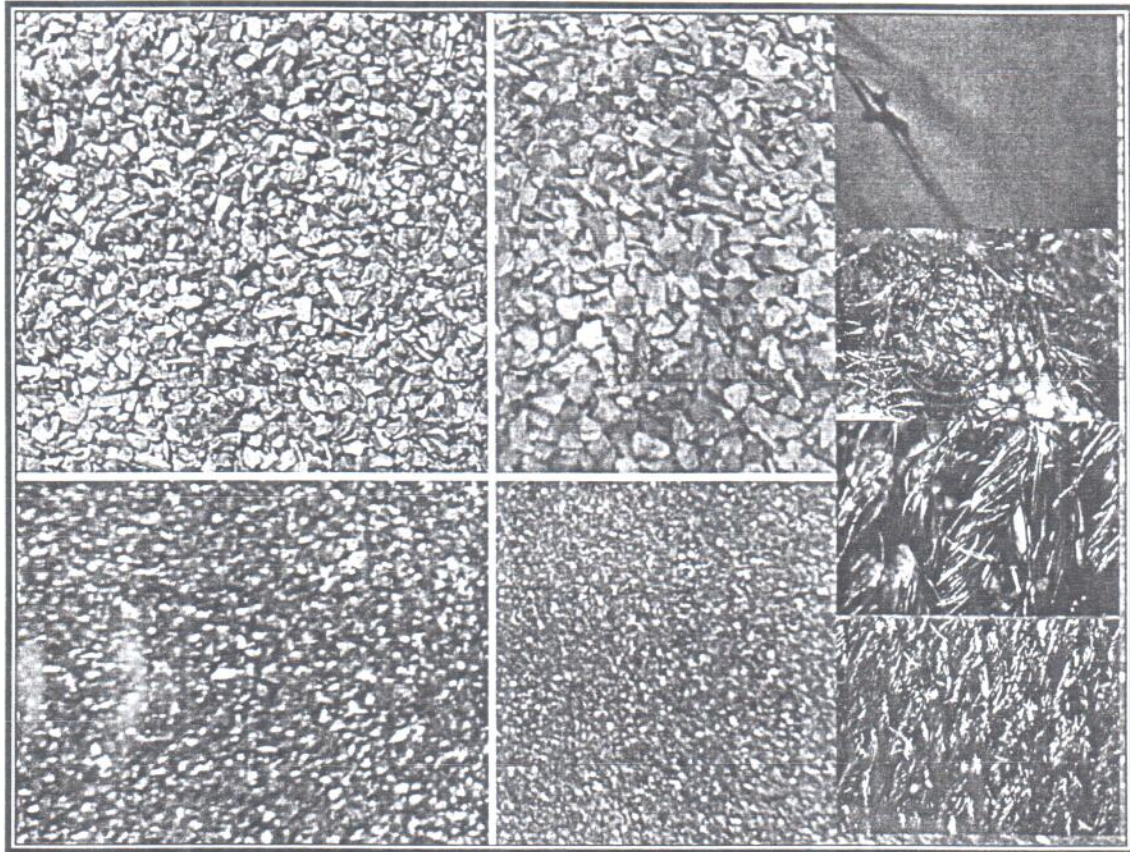


Figura 3. Diferente granulometría (tamaños) de carbón activado.
Fuente: (Moreno, 2006)

El carbón activado está disponible en cientos de diferentes formas. Esta caracterización ocurre por la estructura especial de los poros de absorción con la que está hecha. El carbón obtiene esta forma característica del método de fabricar y de la materia prima básica.

3.3.2 La capacidad de adsorción del carbón activado

La capacidad de un carbón activado para retener una sustancia determinada no sólo está dada por su área superficial, sino por la proporción de poros cuyo tamaño sea el adecuado, es decir, de una a cinco veces el diámetro de la molécula de dicha sustancia. Si se cumple esta condición, la capacidad de un carbón activado puede variar entre el 20% y el 60% de su propio peso, es decir, 1 kg de carbón retendrá entre 200 y 600 gr del contaminante (Clarimex, 2005).

La adsorción es un proceso por el cual moléculas de impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado. La adherencia es gobernada por una atracción electro-química. El carbón activado es preparado a partir de diversos materiales, tales como, carbón, madera, cáscaras de nueces, turba, etc. El carbón se transforma en "activado" cuando es calentado a altas temperaturas (800 a 1000 °C) en ausencia de oxígeno. El resultado es la creación de millones de poros microscópicos en la superficie del carbón. Esta enorme cantidad de área superficial proporciona grandes oportunidades para que tenga lugar el proceso de adsorción. El carbón activado tiene una fuerte atracción adsortiva para otras moléculas (orgánicas) basadas en el carbono, y es excelente en retener firmemente moléculas más pesadas tales como los compuestos orgánicos aromáticos (Newater, 2005).

Generalmente su estructura es sólo ligeramente porosa, a menos que se haya aplicado un procedimiento adecuado de activación. En ese caso se usa el

nombre de carbones activados, denotando materiales con una estructura de poros interna accesible y bien desarrollada. Cuando la media se inclina hacia los micro poros se dice que el carbón es de "fase gaseosa"; en caso contrario, el carbón será para "fase líquida" (Wigmans, 1986 citado por Fernández, 2001).

3.3.3 Purificación en fase líquida.

La adsorción con carbón en fase líquida es útil para remover compuestos orgánicos que causan color, olor y sabor indeseables. Esta técnica es en la mayoría de los casos, la opción más sencilla y económica comparada con otras técnicas, por ejemplo: destilación cristalización, etc. (Newater, 2005)

La adsorción en la fase líquida es el resultado de dos fenómenos (Clark y Linkys, 1991; Groso, 1997; Robau, 2004 b y Newater, 2005)

- Adsorción física: debida a las fuerzas de Van Der Waals.
- Adsorción química: debida a la formación de enlaces químicos

3.3.4 Purificación en fase gaseosa

Los carbones activados para aplicaciones en fase gaseosa son usados en gran escala, en la purificación de aire, purificación de gases de proceso, recuperación de solventes, protección ambiental y como catalizador (Groso, 1997 y Robau, 2004 b).

La adsorción en fase de gas, se lleva a cabo por condensación del vapor, como resultado de la interacción entre la superficie del carbón y el vapor, siendo éste un proceso exotérmico (Martín, 1990).

Las aplicaciones para fase gaseosa pueden dividirse en varios grupos (Groso, 1997):

a) Purificación de gases de proceso:

El carbón activado es particularmente efectivo para adsorber impurezas presentes en concentraciones de partes por millón (ppm); a estos niveles normalmente cualquier otra técnica resulta más costosa. El carbón activado puede absorber y adsorber casi cualquier contaminante orgánico.

Las impurezas con temperatura de ebullición más alta, son más fácilmente absorbibles con carbón activado. Si la impureza tiene un punto de ebullición bajo, es posible usar algún carbón Impregnado para mejorar la eficiencia.

Algunos ejemplos de este tipo de aplicación son:

- Remoción de contaminantes ácidos como: SO_2 , NO_2 , HCl , HF , Cl_2 .
- Remoción de compuestos sulfurosos tales como: H_2S mercaptanos y otros presentes en corrientes de: CO_2 , H_2 , CH_4 , N_2 .
- Eliminación de residuos de aceite lubricante presentes en aire o gases comprimidos.

- Remoción de trazas de vapores de mercurio presentes en combustibles gaseosos.

En todas estas aplicaciones normalmente unos cuantos segundos son suficientes para lograr la adsorción.

b) Purificación de aire:

El carbón activado normalmente es el medio más eficiente para controlar las emisiones peligrosas o de malos olores de una gran variedad de procesos industriales, principalmente cuando el contaminante está presente en una concentración máxima de cientos de p.p.m.

c) Recuperación de solventes:

En muchos procesos industriales que utilizan solventes orgánicos se tienen pérdidas por evaporación de los mismos. El uso de sistemas con carbón activado permite su recuperación a un costo que en muchos casos resulta menor que el costo del solvente recuperado.

d) Otras

Existen algunas otras aplicaciones de carbón activado en fase gaseosa entre las que destacan:

- Las mascarillas industriales y respiradores como protección contra gases tóxicos
- Las mascarillas para uso militar

- Como catalizador o soporte de catalizador, por ejemplo en el proceso "Merox" de endulzado de gasolinas.

3.3.5 Capacidad de adsorción del carbón activado

La capacidad de un carbón activado para retener una sustancia determinada no sólo está dada por su área superficial, sino por la proporción de poros cuyo tamaño sea el adecuado, es decir, de una a cinco veces el diámetro de la molécula de dicha sustancia. Si se cumple esta condición, la capacidad de un carbón activado puede ser de entre el 20% y el 60% de su propio peso, es decir, 1 kg de carbón retendrá entre 200 y 600 gr del contaminante (Clarimex, 2005).

La adsorción es un proceso por el cual moléculas de impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado. La adherencia es gobernada por una atracción electro-química. El carbón se transforma en "activado" cuando es calentado a altas temperaturas (800 a 1000 °C) en la ausencia de oxígeno. El resultado es la creación de millones de poros microscópicos en la superficie del carbón. Esta enorme cantidad de área superficial proporciona grandes oportunidades para que tenga lugar el proceso de adsorción. El proceso de adsorción trabaja como un imán para mantener las impurezas en la superficie del carbón activado. Esto es una acción diferente de aquella que actúa como una esponja en el proceso de absorción, en el cual un gas o líquido es succionado hasta el centro del cuerpo poroso y allí mantenido (Newater, 2005).

3.3.6 Precauciones

Incendio. El carbón activado no entra en combustión (su punto de combustión en oxígeno puro, está por encima de los 370°C).

Contacto con los ojos. Lave los ojos con abundante agua limpia, durante 10 minutos y no use colirio.

Inhalación prolongada. El carbón activado absorbe oxígeno del aire, trabajar por tiempo prolongado en locales cerrados, donde se está almacenado, puede causar deficiencias respiratorias. Si aparecen desórdenes respiratorios, proporcione oxígeno o aplique respiración artificial (Brasilac, 2005).

3.4 Métodos de obtención

Los carbones activados son sólidos porosos que se obtienen generalmente a partir de materiales carbonaceos (García *et al.*, 2005). La activación del carbón consiste en reordenar los átomos de carbono en anillos de tipo benceno para lograr una estructura cristalina reticular similar al grafito (Bravo, 2005). En otras palabras: la activación consiste en "multiplicar" los poros del carbón exponencialmente dando como resultado una estructura formidable para adsorber impurezas, olores, sabores, etc.

Existen básicamente dos procesos, el físico y el químico términos que no reflejan de ningún modo las características del proceso, pero que son usualmente empleados en la bibliografía (Martín, 1990) y a través de los cuales se puede lograr la activación (García *et al.*, 2005):

3.4.1 Activación química

Es posible preparar directamente un carbón activo de elevada superficie, mediante este proceso donde las materias primas o material de partida se le adicione un producto químico que evite la formación de alquitranes. Estas sustancias químicas de efecto deshidratante y oxidante, tales como: el ácido fosfórico, el cloruro de zinc, cloruro de aluminio o ácido sulfúrico, entre otros, se calcinan a temperaturas entre 400 y 600°C (Plachinov, 1937; Dubinin y Zaverina, 1939). Posteriormente, el material debe ser sometido a un proceso de lavado, en el cual se recupera gran parte del material activante empleado, siendo esta etapa de gran importancia, pues en la misma se determina la economía del proceso (García *et al.*, 2005, y Clarimex, 2005). Dicho proceso se conoce como “activación química” (Dubinin and Cumutov, 1936); por este método se obtienen carbones activados de calidad, pero tiene un defecto que es un gran contaminante, haciendo costosa la recuperación de reactivos y la descontaminación de sus efluentes (García *et al.*, 2005).

La activación química se basa en la deshidratación de la materia prima, mediante las sustancias químicas antes mencionadas y a una temperatura media (500 °C, aproximadamente), ésta depende de la sustancia química a utilizar para activar el carbón. (Robau, 2004 b)

3.4.2 Activación Física

El proceso de activación física consta de dos etapas, la pirólisis (carbonización) de la materia prima (madera, turba, conchas de coco, lignito, etc.) y la activación de estos carbones con agentes gaseosos tales como vapor de agua, dióxido de carbono y/o aire, oxidando la materia prima a altas temperaturas, generalmente entre 850-1000°C (García *et al.*, 2005 y Hofmann y Wien, 1943). Debido a que la reacción es endotérmica es necesario normalmente, generar una temperatura constante, la cual depende de la materia prima (Clarimex, 2005).

Mediante el proceso de carbonización se consigue obtener un carbón de baja superficie específica (Dubinin, 1966). Debido a que en este proceso lo que se hace es eliminar elementos como oxígeno e hidrógeno, por descomposición del material de partida en atmósfera inerte (de nitrógeno, usualmente) (Smith, 1952), resultando un material formado por uniones de microcristales grafiticos elementales (Yamada, 1959), usualmente taponados por alquitranes y residuos de carbonización, lo que disminuye notablemente la capacidad adsorbente.

Durante la pirolisis ocurre la descomposición térmica de la materia prima y la mayoría de los elementos no carbonáceos (hidrógeno, oxígeno, trazas de azufre y nitrógeno) son eliminados con el flujo gaseoso, quedando huecos entre los átomos de carbono. Dichos espacios son a la vez ocupados o bloqueados por la deposición de sustancias alquitranosas y carbón desorganizado, razón a la cual se puede atribuir la baja capacidad adsortiva de los carbones primarios.

Si se desea mejorar la capacidad adsorbente de este carbón, habrá que acudir a algún método que permita eliminar los alquitranes, mediante algún agente oxidante, proceso conocido como activación. El agente activante suele ser, en general, vapor de agua o dióxido de carbono (CO_2) (Dacey, 1967; Pierce, y Smith, 1953). En este proceso se pueden considerar dos etapas diferenciadas: una primera, en la que se quema todo el material desorganizado, y una segunda, en la que se abren los poros que inicialmente estaban cerrados o bloqueados (Burrage, 1933), resultando un nuevo material con una superficie elevada, debido a la presencia de una porosidad muy desarrollada. Con el objetivo de incrementar las propiedades de adsorción de estos materiales intermedios, se efectúa el proceso de activación en el cual el material es sometido a la acción de agentes oxidantes, tales como vapor de agua, dióxido de carbono y aire o una combinación de éstos a temperaturas entre 800 y 1000°C con lo cual en primer lugar ocurre la eliminación del carbón desorganizado.

En síntesis, la activación consiste en una carbonización seguida de aire o vapor caliente. La temperatura de activación del vapor afecta la capacidad adsorbente del material. En general, una activación a 400°C produce un carbón con buena capacidad de adsorción alcalina; la activación a 1000°C genera un carbón con buena capacidad de adsorción ácida (Robau, 2004 b).

Las reacciones fundamentales que se desarrollan durante el proceso de activación se pueden describir a través de las siguientes ecuaciones (Robau, 2004 b):



La reacción global del dióxido de carbono con carbono es endotérmica (Wigmans, 1986). A la temperatura que se efectúa el proceso de activación, ambas reacciones son importantes, pero en la mayoría de los casos, el vapor sobrecalentado es el agente de activación primario lo que se explica por la mayor dimensión de la molécula de CO₂, que provoca una difusión más lenta del carbón con el CO₂ en comparación a la del carbón con el vapor de H₂O. Los datos experimentales se ajustan a la siguiente ecuación de velocidad (Martín, 1990):

BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

$$K P_{CO_2}$$

$$r = \frac{K P_{CO_2}}{1 + K_1 P_{CO} + K_2 P_{CO_2}}$$

Donde:

K, K1 y K2 son las constantes de velocidad global y parcial.

P_{CO} y P_{CO_2} las presiones parciales respectivas de CO y CO_2 .

El modelo que más se ajusta a esta ecuación es el siguiente (Walker, 1959, citado por Martín, 1990):



Siendo:

C_f un centro activo del carbón y $C(O)$ un complejo superficial de oxígeno. Como se observa en el modelo, el paso determinante del proceso de activación es el paso de $C(O)$ a CO. La reacción se inhibiría por la presencia de CO, el cual destruirá complejos superficiales.

Las reacciones 1 y 2 tienen carácter endotérmico, el suministro de calor necesario para que estos se verifiquen, en la práctica se logra quemando los gases generados en las reacciones de activación (CO y H_2).



Lo anterior además de mejorar el balance energético del sistema facilita la verificación de las reacciones de gasificación, al incrementar la presión parcial del agente activante y disminuir la presión parcial de los productos inhibidores. Mediante el control de los parámetros o variables durante el proceso de activación con lo cual se favorece el desarrollo de una estructura porosa determinada. Esto está íntimamente relacionado con el tipo de materia prima y equipamiento empleado para la producción de carbón activado.

Mediante el control de los parámetros o variables durante el proceso de activación se puede favorecer el desarrollo de una estructura porosa determinada, lo cual está íntimamente relacionado con el tipo de materia prima y equipamiento empleado para la producción de carbón activado (García *et al.*, 2001).

Un tercer método intermedio de activación, es el que se obtiene del carbón activado granular (CAG) que es un tipo de carbono amorfo que se produce al calentar madera u otro material orgánico en ausencia de aire. El CAG tiene un proceso físico químico posterior: lavado con vapor sobrecalentado para lixiviar los compuestos solubles, solventes para eliminar las grasas, lavados ácidos para disolver metales y otros elementos poco solubles como metales pesados,

hierro, calcio y otros, y por último, se calienta de nuevo sin presencia de oxígeno para eliminar los residuos volátiles de las sustancias de lavado que han quedado dentro de sus poros (Drpez, 2005).

3.4.3 Métodos de impregnación de plata en carbón activado

En situaciones especiales la impregnación de plata al carbón activado de uso medico o en filtros de agua, donde el desarrollo bacteriano es indeseable, es una solución ya que funciona como bactericida (Jimaja, 2003).

No todos los métodos de impregnación de plata en carbón activado logran una buena fijación de este metal. Básicamente se conocen tres métodos: el de plata coloidal, el químico y el electroquímico.

El método de plata coloidal, consiste en preparar una solución en la que la plata se encuentra como un coloide. Un coloide es un estado físico que se encuentra en el límite entre un sólido suspendido y uno disuelto. La solución de plata coloidal tiene la apariencia de una pintura plateada. Con ésta se baña el carbón activado, de manera que la plata se aplica como una capa de pintura. Desafortunadamente, la plata no queda suficientemente fija, y por lo tanto se desprende con facilidad hacia el agua.

Por lo anterior, en los Estados Unidos se ha declarado inaceptable el método de impregnación con plata coloidal.

El método de impregnación química, consiste en una reacción entre plata iónica disuelta en una solución acuosa, y carbón sometido a una pre-oxidación. Es una reacción de reducción a alta temperatura, en la que la plata se liga químicamente con el carbón.

Con el método de impregnación química se logra una buena fijación, por lo que está permitido tanto en los Estados Unidos como en Europa y Japón. Sin embargo, siempre existe una pequeña proporción de plata que se desprende hacia el agua tratada. Por lo tanto, el carbón permanece como bacteriostático durante un período de tiempo relativamente corto.

Finalmente, el método electroquímico, consiste en la depositación de la plata en la superficie del carbón por medio de una corriente eléctrica que provoca la reducción de la plata. Este método logra una mejor fijación metal-carbón, por lo que se considera el método más aceptable (AWWA, 1992).

3.5 Materia Prima

El carbón activado puede ser producido a partir de una gran variedad de materias primas carbonizables, siendo las principales: carbón mineral, cáscara de coco, madera, lignita, aserrín de madera, pepas de frutas, carbón o residuos de petróleo (Levin, 1993 y CI71M, 2003). Las propiedades intrínsecas del carbón activado que se obtiene son totalmente dependientes de la fuente de materia prima utilizada, es decir, las características anatómicas de los

materiales influirán directamente sobre el rendimiento y porosidad de los carbones activados a obtener (Biscoe y Warren, 1942 y Jimaja, 2003).

El carbón en diferentes formas juega un papel importante en muchas industrias, la mayoría de los tipos de carbones industriales son producidos a partir de materiales carbonáceos que se forman naturalmente, originados mediante alguna vía por procesos térmicos. Una clase importante de compuestos (carbones) se obtiene como un residuo después de eliminar a los componentes volátiles de un material carbonáceo (Fernández, *et al.*, 2001).

La estructura de los carbones posee un gran número de imperfecciones, con lo que se pueden conseguir diversas posibilidades de textura porosa en la preparación de carbones activos (Martín, 1990).

Ciertos materiales contienen una cantidad más grande de sustancias volátiles que afectan las temperaturas de los procesos y por ende el control de la porosidad; los volátiles durante la carbonización se retiran, dando origen a una gran área de absorción (Bejar *et al.* 2003). Los materiales utilizados como materia prima en la fabricación de carbón activado son muy variados, en función del método de activación y de las características que se esperan del carbón activado (Jimaja, 2003). Algunos ejemplo de materia prima son la cáscara de coco, aserrín de pino, madera de coníferas y latifoliadas (Figura 4).

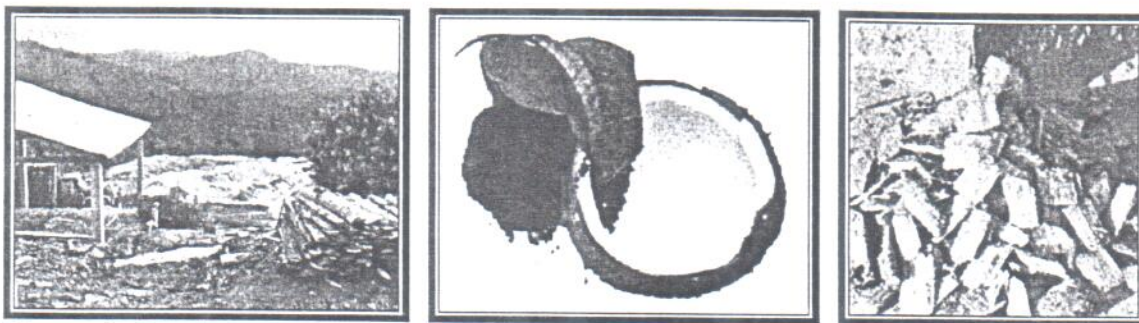


Figura 3. Distintas muestras de materia prima del carbón activado.
Fuente: Moreno, 2006.

El carbón activado se fabrica por la carbonización y activación de material carbonáceo casi exclusivamente vegetal (Martín, 1990), pero prácticamente cualquier material con alto contenido de carbono es susceptible de activarse; sin embargo, los materiales más frecuentemente utilizados son: maderas duras y suaves, lignina, paja, olotes, desperdicio de pasta de papel, grano de café, bagazo de frutas, cereales, cáscaras de coco, nuez, piñón, arroz, algodón, sangre, huesos, vísceras y vegetales marinos, pescado, lignito, turba y hulla bituminosa (Bejar *et al.*, 2003).

Ya se ha podido comprobar que el hueso y orujo de aceituna (Martínez, 1980), la madera de olivo (Gómez, 1982), la cáscara de almendra, el hueso de melocotón, el hueso de ciruela, el hueso de albaricoque y el hueso de cereza son subproductos agrícolas que proporcionan carbones activos granulares que pueden ser comparados muy favorablemente con los carbones activos utilizados a escala industrial. La importancia de utilizar estos subproductos es aparente: bajo costo de la materia prima, concentración de determinadas regiones y, sobre todo, abundancia. Además, puede permitir obtener carbones

activos con una porosidad adecuada a las distintas necesidades industriales, como ya se señaló anteriormente.

Frente a tal escenario, hace algunos años, países como Japón, China y Corea del Sur, habían adoptado una original variedad de materia prima, cáscara de coco, para producir un carbón más apto en la retención de cuerpos ínfimos como el caso de los triometanos responsables de muerte fetal; este nuevo elemento revolucionó la investigación. Nobrac, la principal empresa productora de carbón activado de coco, adquiere cerca de mil toneladas de este material al año (Javier, 1998).

La clave de la cáscara de coco es que produce directamente un carbón activado granulado de alta resistencia mecánica y bajo contenido de impurezas (Cuadro 1). Tales propiedades importantes pueden también alcanzarse usando otras materias primas sólo si se emplean procedimientos especiales; sin embargo, se aumentan los costos de producción. Por ejemplo, en el caso de la madera es necesario usar el aserrín mezclado con aditivos para el moldeo por extrusión de los gránulos, mientras que en el caso del carbón mineral se requiere de una lixiviación para reducir el contenido de impurezas. A partir de la cáscara de coco es posible obtener diversos tipos de carbones activados para distintas aplicaciones, variando las condiciones de preparación (Laine y Yunes, 1992). Por ejemplo, activando la cáscara de coco a alta temperatura (800 °C) en presencia de vapor de agua se puede obtener un carbón hidrofóbico muy microporoso (incluyendo ultramicroporos con diámetro menor de 7 Ångstrom),

apropiado para aplicaciones que involucran separación de gases; pero si se activa a menor temperatura (450 °C) usando un aditivo químico como ácido fosfórico o cloruro de zinc, se puede obtener un carbón hidrofílico de poros más anchos (con mesoporos mayores de 20 Ångstrom) apropiado para aplicaciones en fase líquida. En la actualidad, totalmente al contrario de lo tradicional en la producción de coco, la copra podría ser considerada el subproducto y la cáscara de la nuez el producto principal, teniendo en cuenta el alto valor del carbón activado de buena calidad obtenido de la cáscara de coco (Laine, 1998).

Cuadro 1. Propiedades de los distintos tipos de carbón según su origen.

Propiedad	TIPOS DE CARBÓN			
	Coco	Carbón bituminoso	Lignita	Madera
Microporos	altos	altos	medianos	bajos
Macroporos	bajos	medianos	altos	altos
Dureza	alta	alta	baja	mediana
Cenizas	5%	10%	20%	5%
Cenizas Solubles en agua	altas	bajas	altas	medianas
Polvo	bajo	mediano	alto	mediano
Regeneración	buena	buena	pobre	regular
Densidad Aparente	0.48 gr/cc	0.48 gr/cc	0.3 gr/cc	0.35 gr/cc
Numero de Yodo	1100	1000	600	1000

Fuente: Jimaja, 2003, modificado por el autor.

Rafael Ochoa, director técnico de la Empresa Geominera Oriente empresa del Gobierno Cubano, destacó que el producto logrado del coco se distingue por su dureza, composición química y estructura de los macroporos, y tiene demanda en fábricas de gases industriales, en la obtención del oro y en la medicina.

Por su parte, el que se obtiene de la madera procesada tiene amplio uso en las cervecerías y empresas de bebidas y licores del país para filtrar alcoholes, en la industria en similar proceso con las aguas (Ochoa, 2005).

3.6 Presentaciones y usos

Debido a las características inherentes al carbón activado el área superficial interna puede oscilar entre 500 a 1500 m² / gr, que lo convierten de hecho en un adsorbente por excelencia utilizado en innumerables procesos tecnológicos que abarcan prácticamente todas las ramas de la industria y el consumo, tales como: tratamiento de aguas (filtros de purificación de agua para el hogar), tratamiento de gases (desodorante en filtros de cigarrillos máscaras anti-gases, emisión de gases de automóviles y en las campanas sobre las cocina integrales), industria alimenticia (blanqueado del azúcar decolorante) (Tolbert, 1943), industria médico-farmacéutica (en pastillas para corregir problemas intestinales) (Herout, 1950), industria química (recuperación de solventes y material radiactivo, almacenamiento de gas natural y baterías de litio) (Dow, 1958) e industria metalúrgica(minería del oro) y biotecnológica (refrigeración solar) (Fernández *et al.*, 2001; Robau, 2004 a).

De los carbones activos manufacturados para aplicaciones en fase líquida aproximadamente el 60% son en forma de polvo y sus dos usos principales son:

- 1) Remover de las soluciones el color, olor, sabor, y otras impurezas objetables que impidan ó retarden la cristalización en algunos procesos industriales;
- 2) Concentración o recuperación de la solución de un soluto (Clarimex, 2005).

Martín (1990) publicó que de manera semejante se puede utilizar el carbón activado granular para fase líquida. Los carbones activos manufacturados para su aplicación en fase gaseosa deben poseer grandes áreas superficiales y poseer tamaños de partícula mayores que los utilizados para fase líquida, algunas de sus aplicaciones son:

- 1) Purificación de gases industriales, ó remoción de gases corrosivos en procesos industriales;
- 2) Eliminar olor y adsorber gases que contribuyan a deteriorar el almacenamiento de flores y frutas.
- 3) Eliminación o adsorción de gases radiactivos en los sistemas de enfriamiento de reactores nucleares.

Actualmente, se usan carbones activados como soporte de catalizadores, como adsorbente en refrigeración, considerándose su uso como una solución definitiva para reducir significativamente y de forma permanente la toxicidad, los riesgos en el manejo de sustancias peligrosas y la contaminación de agua o aire. Usándose también en tratamientos alternativos para los mismos fines (Cheremisinoff, 1978; Smisek and Slavos, 1990 y Moreno, 2006).

Algunos compuestos como el benceno, son adsorbidos a porcentajes superiores al 40% por peso sobre el carbón activado granular, mientras que otros, como el metanol, cargan a menos del 1% por peso. El carbón activado granular tiene afinidad con unos cuantos compuestos inorgánicos (el yodo se adsorbe tan bien, que se utiliza como una medida de área de superficie), como el plomo, el mercurio y el arsénico, pero estas reacciones dependen mucho del pH, de la concentración y de la valencia del compuesto. Un primo del carbón activado granular, el carbón de hueso (hecho de hueso animal activado) es mejor para la adsorción de metal pesado, del fluoruro y del núclido radiactivo. El carbón activado es un excelente adsorbente y se utiliza en sistemas diferentes para remover compuestos no deseados (Jimaja, 2003).

En la actualidad se puede prever en los países desarrollados una fuerte demanda de carbones activos en dos campos muy importantes: contaminación atmosférica y aguas residuales. Serán también objeto preferente de acción por parte de los carbones activos la eliminación de materias orgánicas y sustancias tóxicas en gases industriales y aguas potables, eliminación de cloro en agua y su sustitución, etc. (Roskill, 2005 y Kenneth, 2005).

Este prometedor porvenir de los carbones activos requiere que se realicen nuevas investigaciones en el campo de la contaminación, especialmente en lo que se refiere a la búsqueda de nuevas materias primas (Hassler, 1963) y a la obtención de carbones activos selectivos. En este último sentido, se están preparando en los últimos años carbones activos con propiedades de tamiz

molecular, cuyo objeto es la adsorción selectiva de moléculas de tamaño específico, proceso en el que los carbones activos van desplazando a las zeolitas, usadas de forma clásica (Tomas, y Mays, 1961). Otra aplicación importante, que aprovecha las propiedades de tamiz molecular de los carbones activos, es la retención de óxidos de nitrógeno (NOx) procedentes de diversas fábricas, y del azufre que los carbones y petróleos contienen y que al ser calentado se transforma en productos tóxicos, tales como SO₂, SH₂, S₂C, etc. (Krill y Wirth, 1974).

En el campo de la química nuclear también se presenta un futuro prometedor para los carbones activos (Juntgen, 1977). En el proceso de fusión nuclear se producen gases radiactivos, algunos de ellos con largo periodo de semi desintegración, tales como ¹³¹I, ³H y ⁸⁵Kr; éste último es retenido en carbones activos de poros muy estrechos. En las centrales nucleares se ha conseguido ya, por otra parte, que los isótopos de yodo radiactivos se intercambien por yodo no radiactivo en carbones activos impregnados con yoduro potásico (Martín, 1990).

La National Science Foundation (NSF) International y la American Water Works Association (AWWA) han establecido estándares para el carbón activado y la American Society for Testing and Materials (ASTM) ha escrito métodos de prueba para permitirle a uno comparar la actividad (área de superficie o número de yodo), la densidad, el tamaño de malla, la humedad, la ceniza, la resistencia a la abrasión y otros parámetros aplicables a las especificaciones del carbón.

No hay un solo tipo de carbón activado que resulte ser el mejor para todas las aplicaciones. El de base madera es muy macroporoso y es excelente para remoción de color (moléculas grandes), pero usualmente se aplica carbón activado en polvo, ya que el carbón activado granular base madera es demasiado suave para resistir en una operación de columna de carbón activado granular. De igual manera, el carbón activado granular de cáscara de coco es muy duro y resistente a la abrasión, pero dado que es muy microporoso tendría un desempeño pobre en una aplicación de decoloración. El carbón activado base carbón mineral tiene la distribución más amplia en tamaño del poro e incluye poros de todos tamaños, por lo que se le considera como el carbón "atrapa-todo". Los carbones con valor agregado como los lavados al ácido, con pH ajustado, tamaño a la medida o impregnados especialmente (como los impregnados de plata para reducir el desarrollo biológico), también están disponibles para aplicaciones especiales (AWWA, 1992).

Hay páginas especializadas que ofrecen una amplia variedad de carbón activado como la empresa Kifiba (Kifiba, 2005); otro grupo Clarimex ofrece más de 50 diferentes tipos y grados de carbón activado, producidos a partir de cuatro diferentes materias primas en presentaciones tanto pulverizados como granulares.

En general los tipos de carbón activado presentes en el mercado mexicano, son (Clarimex, 2005):

Carbones pulverizados

Carbón de madera activado con ácido fosfórico

Carbón de madera activado con vapor

Carbones minerales de lignito y hulla bituminosa activados con vapor

Carbones granulares

Carbón de madera activado con ácido fosfórico

Carbón de cáscara de coco activado con vapor

Carbón mineral de lignito activado con vapor

Carbón mineral de hulla bituminosa activado con vapor

Carbones especiales

Carbones impregnados

Carbón de hueso

En resumen y a continuación, se enlistan los siguientes usos y aplicaciones por industria (Martín, 1990):

Industria química: recuperación de disolventes, desodorización del aire, mascarillas de gas, desulfuración de gases industriales, refinación de gasolinas, catálisis, tratamiento de gases, purificación de aire, purificación de gases industriales, purificación de solventes, recuperación de solventes de corrientes

gaseosas, tratamiento y purificación de ácidos orgánicos e inorgánicos, tratamiento de alcohol y kerosene, tratamiento y purificación de esencias y fragancias, catalizador en la industria petroquímica y en la química nuclear.

Industria medico-farmacéutica: vehículo excipiente en fármacos, tratamientos contra intoxicaciones, adsorbente de uso general, decoloración de productos farmacéuticos, purificación de DEA (Proceso Girbotol), proceso Meros y en la purificación y separación de los diversos compuestos de la sangre de transfusión en los servicios de hemodiálisis de unidades asistenciales.

Industria alimenticia: tratamiento de bebidas alcohólicas como cervezas y otros, decoloración y desodorización de alimentos, tratamientos de aguas, refinación de azúcar, tratamiento de aguas de la industria alimenticia, potabilización de agua municipal, decoloración de agua, decoloración de azúcar, decoloración de glucosa, decoloración de jugo de frutas, decoloración-deodorización de vinos y mostos concentrados, decoloración de aceite, tratamiento de vinos, tratamiento de aceites vegetales especiales, tratamiento de ciclamatos y glutamatos, tratamiento y purificación de gelatinas, etc.

Tratamiento de aguas; residuales, de plantas tratadoras de agua residencial, de agua proveniente de procesos industriales, etc.

Industria metalúrgica; recuperación de oro y plata, como reductor y en la sintetización y pelletización de minerales de fierro (Robau, 2004 b; Clarimex, 2005; Brasilac, 2005; Ochoa, 2005).

En seguida, se detalla el uso de los carbones activados en los usos más importantes ya citados, también al final del documento en los anexos se enlistan algunos ejemplos de aplicaciones e ilustraciones de los productos.

3.6.1 Recuperación de solventes

La recuperación de solventes consiste en adsorber un compuesto orgánico volátil (COV) en una cama de carbón activado granular, y en recuperarlo mediante la desorción del mismo, sin retirar el carbón del sitio, mediante vapor de agua que se hace circular a través de la cama cada vez que el carbón se ha saturado (Figura 5). Esta operación se realiza cuando el COV se encuentra en bajas concentraciones pero en muy grandes cantidades de aire. El carbón concentra el COV en su superficie, y en la etapa de desorción, lo deja escapar junto con un volumen pequeño de vapor de agua. Posteriormente, se condensa tanto el vapor de agua como el COV, y ambos se separan por decantación (si son inmiscibles) o por destilación (Clarimex, 2005).

En la etapa de desorción, se somete el carbón saturado con el COV a una alta temperatura, lo que puede provocar una ignición en la cama. Para disminuir las

posibilidades de ignición, es necesario utilizar un carbón bajo en cenizas (Clarimex, 2005).

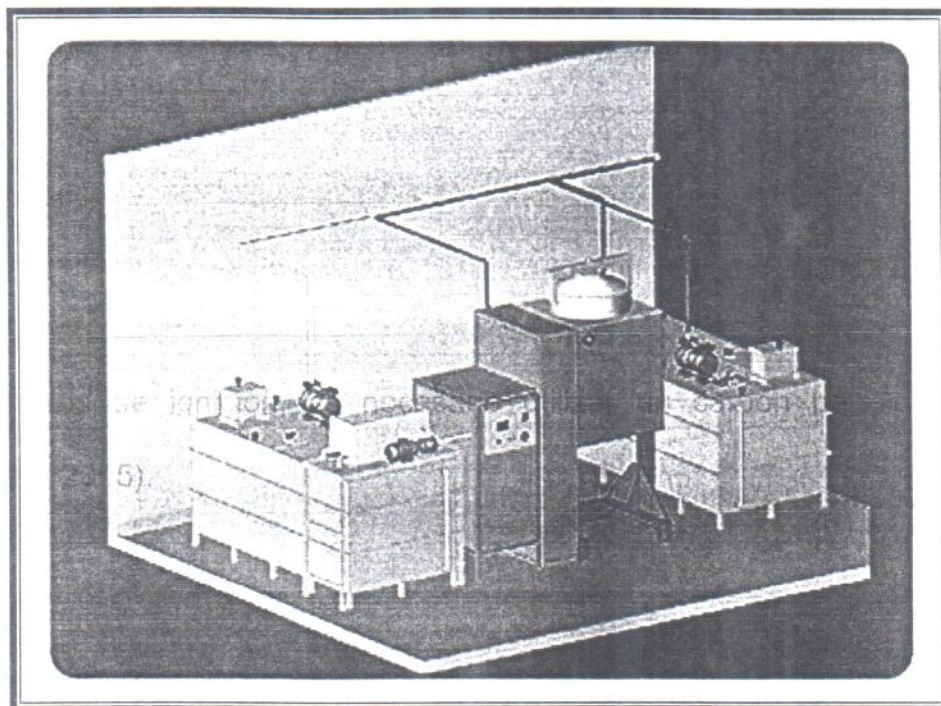


Figura 5. Máquina recuperadora de solventes con cama de carbón activado granular.

Fuente: Moreno, 2006.

3.6.2 Decoloración

Los colores que se manifiestan en líquidos suelen ser moléculas de tamaño relativamente grande. Por lo tanto, se adsorben en poros grandes, lo que hace que los carbones más adecuados para retenerlos sean los de mayor macroporosidad. Los carbones de madera, particularmente los de maderas no muy duras (como pino) que se activan químicamente, son los más macroporosos y, por lo tanto, son los más adecuados para decolorar (Clarimex, 2005).

El uso de carbón activado para modular coloración se aplica en la producción de jugos, vinagres, licores, azúcares, mieles y caramelos (Figura 6).

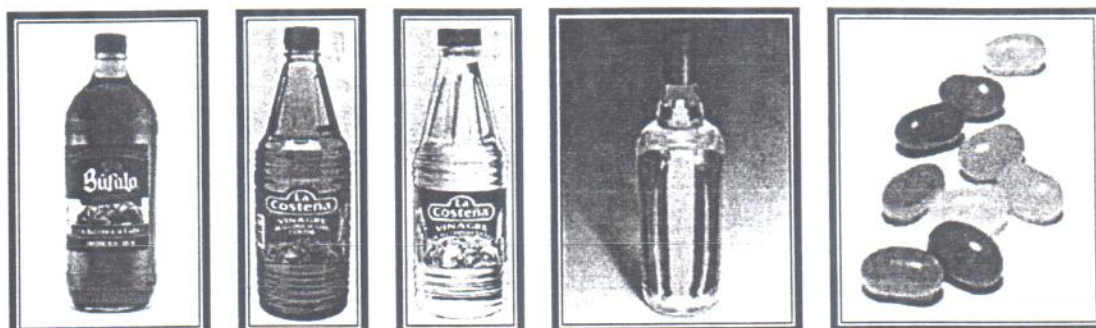


Figura 6. Productos modulados en su decoloración con carbón activado
Fuente: Moreno, 2006.

3.6.3 Decoloración de vinos

El vino contiene un complejo de componentes de color que tienen su origen principalmente en las uvas. Estos componentes representan los pigmentos de la planta, los cuales son responsables de la belleza y variados colores con los que dotó la naturaleza a sus flores, frutos y semillas. Estos componentes orgánicos pertenecen entre otros al grupo de los taninos, carotenoides (color amarillo), clorofila (color verde) y antocianinas (color morado). Por lo general, un carbón activado de elevada actividad, elaborado por activación química, tendrá la estructura porosa apropiada para absorber del vino los mencionados componentes de color. Según el tipo de vino que deba decolorarse (tinto, rosado o blanco) y el color final requerido, la dosificación de carbón activado tratado con ácido fosfórico oscilará entre los 75-200 gr por hectolitro.

Un carbón activado con ácido fosfórico con una estructura porosa de transición altamente desarrollada y una gran cantidad de macro poros, lo que da como resultado un alto índice de difusión.

3.6.4 Potabilizado de agua

Los contaminantes típicamente presentes en aguas de pozo suelen ser de bajo peso molecular y, para estos casos, el carbón más adecuado es uno de alta microporosidad. Los carbones que mejor cumplen con esta condición son, en primer lugar, los de concha de coco y, posteriormente, los minerales bituminosos (Clarimex, 2005).

Para la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales, comerciales y muchas municipales (Figura 7), el GAC se utiliza en una operación de columna y la corriente del líquido se pasa a través de la cama de GAC en un flujo descendente o, en situaciones especiales, en el modo de flujo ascendente. El GAC típico es de 22 a 30 libras por pie cúbico (lbs/pie³), dependiendo de si fue fabricado a partir de carbón mineral o cáscara de coco, y su tamaño es de 8×30 o de 12×30 o de 12×40 US Malla (12×30 quiere decir que el 90% del GAC es más grande que una malla #30 y más pequeño que una malla #12; un 5% puede ser más grande que una malla 12 y un 5% más pequeño que una malla 30).

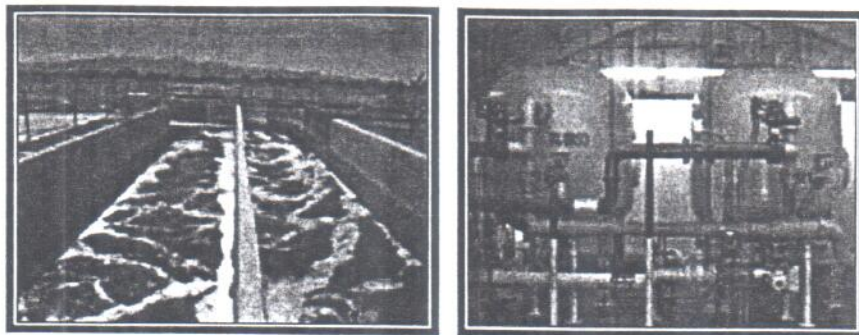


Figura 7. Planta tratadora de agua y potabilizadora
Fuente: Moreno, 2006.

Como la concentración de materia orgánica en las aguas de desecho puede ser muy alta, la mayor parte de las grandes industrias la eliminan mediante el cultivo de bacterias (areobias y anaerobias) en grandes estanques llamados facultativos. Sin embargo, existe materia orgánica que no se comen las bacterias y se le llama material refractario, el cual es eliminado mediante carbón activado que tiene la propiedad de adsorber muchos de los materiales refractarios a los sistemas biológicos. Para eliminar contaminantes orgánicos y algunos sólidos en suspensión se usa carbón activado porque es muy poroso y tiene una gran superficie de contacto a la cual se adhieren y son eliminados. Algunos sistemas de digestión biológica utilizan el carbón activado en polvo para concentrar la fuente de alimento de las bacterias para que conviertan de manera más eficiente a la materia orgánica en biomasa o hasta en bióxido de carbono (Sagan-gea, 2005).

Desde hace muchos años el carbón activado granular ha sido usado en los acuarios para remover el indeseado color amarillento que toma el agua con el paso del tiempo, producto del metabolismo de los peces y los desechos

orgánicos que se van acumulando progresivamente y que es muy difícil de eliminar sin la ayuda de nuestro negro amigo: el carbón activado (Drpez, 2005).

Como ya se ha mencionado, los peces, plantas, bacterias y restos orgánicos dentro del acuario interactúan dando lugar a muchos procesos bioquímicos donde interviene el metabolismo de los seres vivos, descomposición de sustancias de desechos y materia muerta, oxidación y reducción de sustancias disueltas en el agua por acción de los gases disueltos y los microorganismos que pululan por doquier. En el acuario hay una gran cantidad de sustancias orgánicas que dan origen a macromoléculas nitrogenadas de tipo proteínicas que dan ese tinte amarillo (Gelbstoff) y que es difícil de eliminar. Aún los cambios frecuentes de agua pueden ser insuficientes para mantener a raya ese desagradable tinte amarillo que da al acuario un aspecto de viejo y descuidado. Las sustancias de desecho se van acumulando a medida que los días transcurren, los peces van creciendo y el acuario cada vez está más poblado por lo que el consumo de alimentos va en aumento, que es la entrada mayor de sustancias nitrogenadas, además que con el tiempo las sustancias orgánicas se van oxidando cada vez más y colorean más el agua. Aquí es donde entra a jugar el papel importante el Carbón Activado Granular (CAG) con su gran capacidad de absorción de macromoléculas orgánicas disueltas, las cuales captura como succionadas por los microporos de su estructura, donde son almacenados sin posibilidad de salir nuevamente (Drpez, 2005).

Desde siempre, las empresas han requerido de enormes y millonarios procesos para llevar a cabo la potabilización del agua, muchos de ellos a base de la mezcla de cloro con agua para erradicar hasta la última forma de bacteria, con lo que termina un problema de salud, pero comienza otro: el cloro, combinado con materia orgánica, forma trihalometanos, un compuesto ligado a la incidencia del cáncer (Groso, 1997).

Estas moléculas son tan minúsculas que los filtros de carbones comunes, como el de madera, no consiguen separar (Javier, 1998).

Los Estados Unidos adoptaron en 1912 las primeras normas relacionadas con la calidad del agua. Posteriormente, se aprobaron normas adicionales y se actualizaron las existentes, hasta 1974 en que se emitió la Ley de Agua Potable Segura (SDWA por sus siglas en inglés: Safe Drinking Water Act). Esta ley ha cambiado radicalmente el concepto de suministro de agua en dicho país (Groso, 1997; Kenneth, 2005 y Clark y Lykins, 1991).

Originalmente redactada en 1974, la SDWA requiere de la Agencia de Protección Ambiental de los E.U. (EPA por sus siglas en inglés: U.S. Environmental Protection Agency), la determinación de los contaminantes que afectan la salud pública, así como el establecimiento de estándares para dichos contaminantes. Cada uno de los estados, obligados por las garantías federales, ponen en vigor reglamentos para el agua potable y supervisan a los organismos suministradores de agua de la nación. Estos organismos deben detectar

contaminantes en las aguas suministradas y efectuar los tratamientos que sean necesarios para cumplir con las normas (AWWA, 1992).

Las normas de agua potable establecidas por la EPA de acuerdo a la ley mencionada, son obligatorias para sistemas públicos de suministro de agua (sistemas que tienen al menos 15 conexiones de servicio, o que regularmente den suministro al menos a 25 individuos). Se estima que existen más de 200,000 sistemas de este tipo en los E.U., de los cuales cerca de 60,000 dan servicio a comunidades completas (Budavari, 1996)

En 1986, el Congreso reformó la ley con el objeto de acelerar los esfuerzos de la EPA para establecer estándares relativos a contaminantes químicos que se han detectado en agua potable, y para establecer un programa nacional (aunque limitado) de aguas subterráneas, en el que se requiere a cada Estado, la protección de dichas aguas extraídas mediante sistemas de pozos para abastecimiento público (Budavari, 1996).

La EPA ha identificado cientos de sustancias orgánicas sintéticas, metales pesados, pesticidas y otros contaminantes en suministros de agua potable, usualmente en concentraciones muy bajas –trazas–. Aunque los efectos en la salud de muchas sustancias no se conocen bien, algunas de ellas en concentraciones suficientes pueden causar irritación de los ojos y de la piel, defectos de nacimiento, cáncer y daños al sistema nervioso, al hígado, riñones y pulmones. Los contaminantes provienen de infiltraciones de descargas

contaminadas, de la desinfección con cloro de los suministros de agua (el cloro puede reaccionar, formando subproductos peligrosos) y de la naturaleza. En 1983, la Oficina de Inspección de Suministros de Agua Subterránea de la EPA encontró que un 28% de sistemas grandes de agua municipal, seleccionados al azar (que daban servicio a más de 10,000 personas cada uno) tenían niveles detectables de uno o más químicos orgánicos volátiles en sus suministros de agua subterránea. Otra institución, la Oficina de Inspección de Suministros de Agua a Comunidades de la EPA, encontró que el agua del 45% de los sistemas de agua pública abastecidos por aguas subterráneas, tenían niveles detectables de químicos orgánicos volátiles (AWWA, 1992).

Durante el año de 1985, la EPA reportó cerca de 16,000 violaciones a las normas de agua potable, y 79,000 violaciones a los requerimientos de monitoreo y reporte. De los 58,530 sistemas de agua pública que reportaban, 728 violaban persistentemente los estándares microbiológicos. La mayoría del resto de las violaciones se debían a que se rebasaban los estándares de nitratos y fluoruros (Clark y Lykins, 1991).

Numerosos estudios han documentado que la mayoría de los problemas en la calidad del agua potable en los E.U., están asociados con sistemas pequeños (de menos de un millón de galones de agua suministrada por día). Es probable que a los organismos operadores de muchos de estos sistemas se les requerirá la inversión en tecnología para cumplir los requerimientos del Acta de Agua Potable Segura. Dicha ley y la Enmienda a la misma (SDWAA por sus siglas en

inglés: Safe Drinking Water Act Amendments) de 1986 requieren que los sistemas de agua pública utilicen las mejores tecnologías disponibles para remover los contaminantes, y que monitoreen químicos que no estén regulados. Las enmiendas a la ley hacen más estrictas las reglas para la disposición de desechos por infiltración (AWWA, 1992).

La ley ha requerido de la EPA, el establecimiento de metas en el nivel máximo de contaminantes (MCLGs por sus siglas en inglés: Maximum Contaminant Level Goals) que estén basadas en niveles en los que no ocurren o no se conocen efectos a la salud, permitiendo un adecuado margen de seguridad. Cada nivel máximo de contaminantes (MGL) establecido dentro del SDWAA debe ser promulgado simultáneamente con la publicación del correspondiente MCLG y debe tener un valor técnicamente factible de obtener y lo más cercano posible a dichas metas (Budavari, 1996 y Clark y Lykins, 1991).

En este sentido, el término factible significa el uso de la mejor tecnología de tratamiento y otros medios disponibles, tomando en consideración el costo. En el establecimiento de los MCLs para químicos orgánicos sintéticos (SOCs), el uso de carbón activado granular (GAC) se considera factible de acuerdo a la Enmienda de 1986. Cualquier otra tecnología, técnica de tratamiento, u otro medio disponible para el control de SOC's debe ser tan efectivo como el carbón activado granular para este propósito (Budavari, 1996).

Adicionalmente, a la determinación de que el uso del carbón activado para controlar SOC's se considera una técnica de tratamiento factible, las enmiendas a la ley requieren que para cada norma establecida mediante la Reglamentación Nacional de Agua Potable que determine un MCL, la EPA liste la tecnología, técnica de tratamiento, y otros medios que considere como factibles para lograr el MCL, aunque estos medios no se requieran obligatoriamente para cumplir el objetivo (AWWA, 1992).

El resultado de estas enmiendas es el de establecer al carbón activado granular como una tecnología base para la remoción de químicos orgánicos sintéticos. Por lo tanto, este libro se ha escrito para suministrar la mejor y más actualizada información disponible en los E.U., relativa al costo y a la operación del carbón activado granular (Clark, y Lykins, 1991).

Estudios realizados en lechos empacados con carbón activado en equipos adsorbedores de plantas de tratamiento de agua y en columnas piloto, han mostrado un rápido crecimiento de la población de bacterias. Este veloz desarrollo es el resultado de varios factores (AWWA, 1992):

Por un lado, el carbón destruye el cloro libre por reacción química en la que lo convierte en ión cloruro que es inocuo. Dicha reacción es muy rápida, por lo que el cloro libre desaparece en los primeros centímetros de la cama. Esto significa que, en el resto de la cama, y en la tubería de descarga, el agua queda desprotegida del cloro libre que es el agente bactericida.

Por otro, el carbón atrapa materia orgánica a lo largo de toda la cama de carbón, lo cual significa que el carbón va concentrando materia que es alimento para los microorganismos; además, el carbón proporciona una superficie rugosa y agrietada, que es muy adecuada para la fijación y proliferación bacteriana.

Por lo tanto, el crecimiento bacteriano es una consecuencia inevitable en la operación de equipos adsorbedores de carbón activado. Tarde o temprano, inciden bacterias en la cama de carbón, que generalmente provienen de la tubería de descarga, entre el adsorbedor de carbón activado y el primer equipo esterilizador (lámpara de UV u ozonizador), en caso de que éste exista.

Es típico, por ejemplo, que las bacterias incidan por las tomas para muestreo de agua. Existen varios procedimientos de sanitización para el control bacteriano en camas de carbón activado, mismos que deben efectuarse periódicamente. La periodicidad dependerá de la eficacia en la sanitización, de las condiciones de los equipos y de las condiciones bacteriológicas del área en la que se localiza el proceso.

Es difícil lograr una sanitización completa, y cada método tiene sus limitaciones y sus efectos indeseables, tanto para el carbón como para el equipo. Por lo tanto, el personal que opera las plantas que utilizan carbón activado, requiere experiencia y destreza.

Para los casos del carbón que se aplica en hogares y en comercios, la sanitización no es práctica. Una mejor solución es la aplicación de carbones bacteriostáticos. Consisten en carbones activados impregnados con plata metálica. La plata evita el desarrollo microbiano y evita la necesidad de sanitizar (AWWA, 1992).

Una de las principales aplicaciones del carbón activado granular es la potabilización de agua. Su función, es la retención de contaminantes orgánicos y la eliminación, por reacción química, del cloro libre residual que permanece en el agua después de la etapa de desinfección. La eliminación del cloro libre se lleva a cabo en los primeros centímetros de la cama de carbón, por lo que en el resto de ésta, ya no existe protección contra el desarrollo bacteriano. Tarde o temprano, pueden incidir bacterias que provienen de un influente mal desinfectado, o de algún punto de la tubería del efluente. Esto sucede, principalmente cuando no circula el agua, mientras el equipo está fuera de servicio. Las bacterias se reproducen, y convierten la cama de carbón en un foco de contaminación. Con el objeto de inhibir el desarrollo bacteriano, se impregna la superficie del carbón con plata metálica. Al carbón resultante se le denomina bacteriostático.

3.6.5 Purificación de aire y gases

Todos los contaminantes en estado gaseoso tienen diámetros moleculares menores a 2 nm por esto es que se adsorben preferentemente en microporos. Los carbones de concha de coco son los de mayor microporosidad y, por lo tanto, son los más usados en la purificación de aire y gases (Clarimex, 2005). Para el caso de los filtros de aire, se utiliza carbón activado granular de alta porosidad (Figuras 8 y 9).

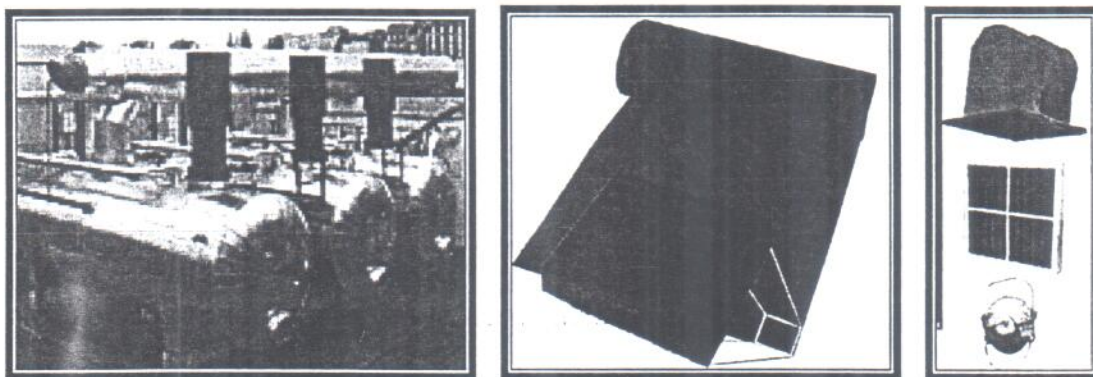


Figura 8. Filtros de aire para interiores.
Fuente: Grosó, 1997.

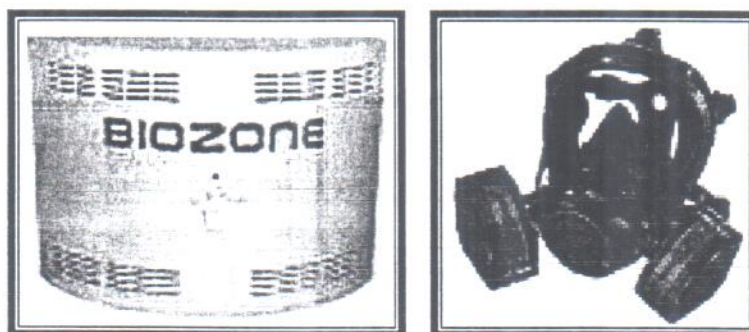


Figura 9. (a la derecha) Filtro de aire doméstico; (a la izquierda) mascarillas para filtrar aire.
Fuente: Grosó, 1997.

3.6.6 Eliminación de cloro libre

El proceso más utilizado para la desinfección del agua es la cloración porque se puede aplicar a grandes cantidades de agua y es relativamente barato. El cloro proporciona al agua sabor desagradable en concentraciones mayores de 0.2 p.p.m aunque elimina otros sabores y olores desagradables que le proporcionan diferentes materiales que se encuentran en el agua (Groso, 1997).

Aunque el cloro elemental o en forma atómica se puede usar para la desinfección del agua, son más utilizados algunos de los compuestos de cloro como el ácido hipocloroso, el hipoclorito de sodio, el hipoclorito de calcio y el peróxido de cloro (Groso, 1997).

Algunas de las reacciones químicas que ocurren entre compuestos de cloro y el agua se representan en las ecuaciones químicas siguientes (Groso, 1997):

Hidrólisis del cloro: $\text{Cl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$.

Disociación del ácido hipocloroso: $\text{HClO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{ClO}^-$

Acidificación del hipoclorito de sodio: $\text{NaClO} + \text{H}^+ \rightarrow \text{Na}^+ + \text{HClO}$

El cloro puede formar con el amoníaco las cloraminas que también tienen acción desinfectante. El peróxido de cloro también es capaz de oxidar a los fenoles.

El cloro tiene una acción tóxica sobre los microorganismos y actúa como oxidante sobre la materia orgánica no degradada y sobre algunos minerales. El cloro no esteriliza porque aunque destruye microorganismos patógenos no lo hace con los saprofitos (Sagan-gea, 2005).

La decloración consiste en un mecanismo complicado que puede seguir distintos caminos de reacción en los que el carbón activado puede intervenir como reactivo o como catalizador. El cloro se elimina con carbón activado granular (Clarimex, 2005).

En algunos casos no es la capacidad adsorbsiva del carbón activado granular (GAC) lo importante, sino el efecto catalítico del área de superficie, como cuando el GAC reduce el cloro de la molécula Cl_2 a iones de cloruro (Cl^-). Esta es una reacción rápida y es la razón de por qué los pequeños filtros de agua residenciales y al extremo de la llave del agua pueden reducir efectivamente el cloro con un tiempo de contacto mínimo (Sagan-gea, 2005).

La remoción de cloro y de cloramina no es un proceso de adsorción, sino más bien un proceso de reacción catalítica de superficie. La molécula del cloro, Cl_2 , es catalizada en dos iones de cloruro Cl^- y Cl^- al hacer reacción con la superficie del carbón-el mismo tipo de reacción se aplica al ozono y a las cloraminas. Por lo tanto, para la descloración el carbón no es saturado con cloro, sino que cambia el cloro en cloruro y puede durar mucho tiempo. El GAC utilizado para remoción de cloro usualmente es reemplazado porque también ha

estado adsorbiendo y removiendo compuestos orgánicos que sí llenan los poros disponibles en el carbón. Los compuestos problema como los trihalometanos (THMs), el cloroformo y el bromoformo, etc., son adsorbidos y pueden "llenar" los poros del carbón con el tiempo (Sagan-gea, 2005).

La capacidad del GAC para adsorber un compuesto depende de la polaridad iónica, del peso molecular, la solubilidad y la concentración del compuesto (Martín, 1990; Jimaja, 2003; Sagan-gea, 2005 y Clarimex, 2005).

3.6.7 Uso médico

El carbón activado es un absorbente y adsorbente para muchas drogas. Puede usarse por vía oral para eliminar drogas del tracto gastro intestinal o por hemoperfusión para eliminar drogas en sangre. En el tratamiento oral de las intoxicaciones el carbón activado se da habitualmente como una suspensión después del vaciado gástrico, y el mecanismo de acción es la absorción continuada de la droga en todo el tubo gastro intestinal (Fernández-Urrizola, 2002).

El ingerir carbón activado puede producir estreñimiento y causa coloración negra de las heces. La dosis recomendada es de 1 a 2 gr / kg de peso corporal o de 15 a 30 gr para niños y de 50 a 100gr para adultos. Aunque la absorción óptima se produce cuando se administra en dosis de 5 a 10 veces la cantidad

de tóxico ingerido. Su presentación es: en polvo soluble 1 en 0.5 de agua o en suspensión en Sorbitol al 70% (Fernández-Urrizola, 2002).

Las cápsulas y los comprimidos o tabletas, contienen carbón activado granular, ya que aunque está molido y a simple vista tiende a dar la apariencia de ser polvo, no llega a ser pulverizado, por el tamaño de partículas que presenta (Figuras 10 y 11) (Moreno, 2006).

El común de la gente asocia el carbón activado a una pastilla de venta libre en las farmacias: sirve para contener los indeseables apurones que suelen provocar las incómodas colitis. Poco se sabe que ése es sólo uno de sus usos, porque tiene innumerables aplicaciones en la industria (Bossio, 2005).



Figura 10. Cápsulas de carbón activado en diferentes presentaciones.
Fuente: Moreno, 2006.

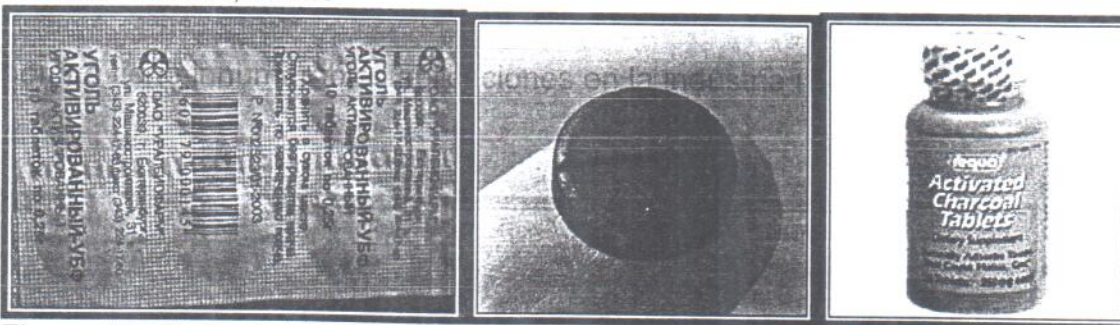


Figura 11. Comprimidos de carbón activado en diferentes presentaciones.
Fuente: Moreno, 2006.

Los apósitos de carbón activado con plata, utilizan carbón activado pulverizado; estos apósitos son conocidos como apósitos para diabéticos, ya que por las cualidades que proporciona el carbón activado, impide que las heridas se contaminen por agentes externos, y al mismo tiempo absorbe las supuraciones que se generan en la herida, favoreciendo su curación, al mismo tiempo, la plata complementa las propiedades del apósito, ya que cumple un papel de agente antibacterial muy eficiente, favoreciendo aún más las posibilidades de sanar la herida evitando infecciones (Figura 12) (Piola, 2004).

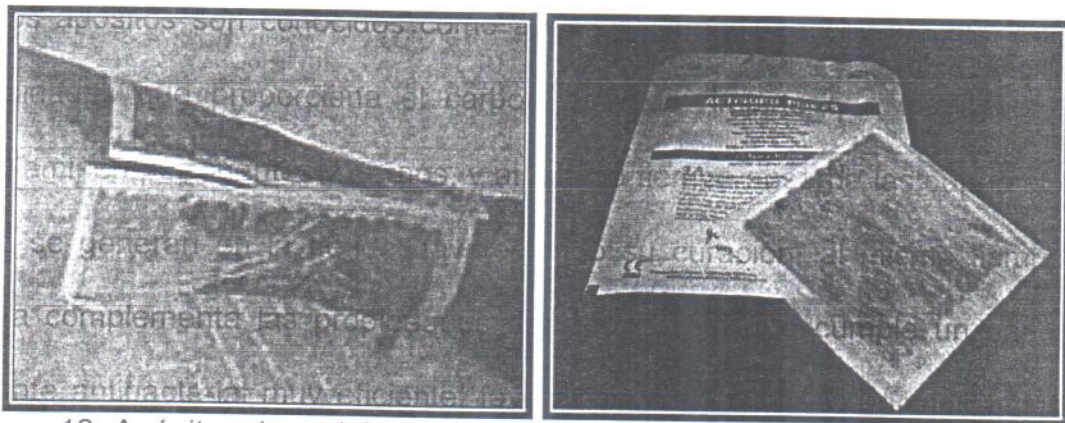


Figura 12. Apósitos de carbón activado con plata.
Fuente: Moreno, 2006.

El carbón activado es un absorbente para muchas drogas. Puede usarse por vía oral para eliminar drogas del tracto gastro intestinal o por hemoperfusión para eliminar drogas en sangre (Fernández-Urrizola, 2002).

En el tratamiento oral de las intoxicaciones el carbón activado se da habitualmente como una suspensión después del vaciado gástrico y el

mecanismo de acción es la absorción continuada de la droga en todo el tubo gastro intestinal (Fernández-Urrizola, 2002).

Esta contraindicado después de la ingestión de ácidos o álcalis fuertes, no los absorbe, inhibe la curación de las lesiones e impide la visualización de los tejidos (Fernández-Urrizola, 2002 y Fernández *et al.*, 2001).

El carbón activado es el antídoto más utilizado en las salas de urgencias de todo el mundo, para resolver cuadros de intoxicación aguda. Se considera un antídoto casi universal ya que adsorbe prácticamente cualquier tóxico de origen orgánico. Por lo tanto, se indica en casos de intoxicación medicamentosa, por alimentos, plantas de ornato, sobredosis de drogas de abuso y toxinas, productos químicos de uso casero e industrial (excepto sosa, quitacochambres, ácido muriático e hidrocarburos), entre otros (Figura 13) (Piola, 2005).

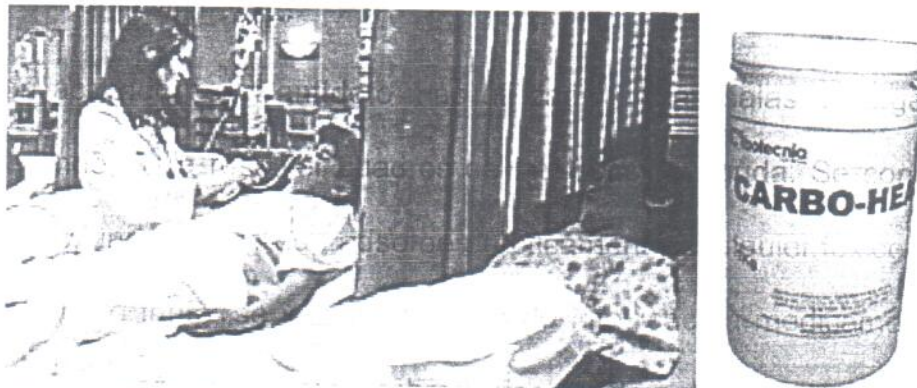


Figura 13. Paciente en fase de recuperación por intoxicación con químicos.
Fuente: Carbotecnia, 2006.

La biblioteca practica medica citada por (Piola, 2005) especifica que el carbón activado puede absorber de una solución de fenazona no menos del 40 % de su peso. Asimismo, tiene pruebas de su poder adsorativo con respecto a alcaloides y tinturas.

El carbón activado es prácticamente insoluble en todos los solventes usuales, su farmacología clínica indica que el carbón activado es un absorbente para muchas drogas, incluyendo aspirina, paracetamol, barbitúricos y antidepresivos tricíclicos. Puede usarse por vía oral para eliminar drogas del tracto gastro intestinal o por hemoperfusión para eliminar drogas de sangre. Al parecer no se produce pérdida de la capacidad de adsorción del complejo carbón-tóxico a medida que progresa a lo largo del tubo gastrointestinal. En el tratamiento oral de intoxicaciones el carbón activado es dado habitualmente como una suspensión luego de la evacuación gástrica (Piola, 2005).

Indicaciones y Usos

El carbón activado absorbe una amplia variedad de materiales orgánicos en el tubo gastrointestinal, con lo que reduce al mínimo su absorción. Puede ser utilizado como marcador intestinal y como desodorante de heridas y úlceras pestilentes. También puede ser usado antes del lavado gástrico pero no retrasarlo ni reemplazarlo. Ha sido usado en el tratamiento de la flatulencia. Se usa en la remoción de gases en aparatos de baja presión y como protector contra gases tóxicos (Piola, 2005).

Contraindicaciones

No se debe administrar carbón activado después de la ingestión de ácidos o álcalis fuertes ya que no los adsorbe y puede impedir la visualización de los tejidos e inhibir la curación de las lesiones (Piola, 2004).

Precauciones

El carbón activado disminuye el efecto del jarabe de ipeca cuando se administran simultáneamente por vía oral. Algunos agentes no se adsorben bien como el ácido bórico, cianuro, sulfato ferroso, litio y otras moléculas pequeñas ionizadas (Piola, 2004).

La presencia de alimentos en el estómago disminuye la eficacia del carbón activado para adsorber tóxicos. La disponibilidad de un antídoto en una intoxicación vuelve innecesario el uso del carbón activado e incluso cuando se usan ciertas sustancias como antídotos por vía oral, como la n-acetilcisteína, pueden ser adsorbidas por el carbón activado y disminuir su utilidad (Piola, 2004).

Reacciones adversas

Los efectos indeseables del carbón activado por vía oral son mínimos. Una ingestión regular puede afectar el proceso normal de adsorción gastrointestinal. La administración rápida puede causar náuseas y vómitos, mientras que dosis repetidas producen constipación. Puede causar coloración negra de heces (Piola, 2004 y Piola, 2005).

Dosis y Administración

Se produce adsorción óptima cuando el carbón se administra en dosis 5 a 10 veces de la cantidad del material ingerido pero lamentablemente rara vez se conoce la cantidad exacta de tóxico ingerido. La dosis recomendada es de 15 a 30 gr para niños pequeños y 50 a 100 gr para mayores de 12 años y adultos. Como alternativa puede darse 1 a 2 gr / kg de peso corporal (Cebrián, *et al.*, 2006).

El uso de dosis repetidas de carbón activado aumenta la eliminación de muchas drogas y los mecanismos propuestos para este efecto son: 1. Interrupción de la circulación enterohepática; 2. Adsorción de drogas secretadas desde el estómago a la luz intestinal; y 3. Adsorción continuada de la droga administrada por vía oral en el tubo gastrointestinal. No ha sido definida una dosis óptima ni la frecuencia de administración del carbón. Se recomienda en adultos 20 a 60 gr cada 4 a 12 horas y en niños 5 a 10 gr cada 4 a 8 horas. Suele administrarse un purgante salino o sorbitol para prevenir constipación. (Piola, 2004 y Cebrián *et al.*, 2006).

En la medicina, se destacan las aplicaciones mas recientes en los tratamientos de quimioterapia contra lesiones neoplásicas (utilizado como vehículo de citostáticos) así como en soluciones intravenosas libres de pirógenos y en procesos para la delipidización de plasma sanguíneo como vía de obtener productos de una elevada pureza como son la albúmina y la gamma globulina. Estos aspectos, lo sitúan como un producto que coincide plenamente con las

actuales líneas de trabajo de importantes compañías a nivel mundial, lo que puede inferirse si se conoce que el 31% de las ventas netas de la firma Norit responde a carbones activados de estas características (Fernández *et al.*, 2001).

3.6.8 Eliminación de polifenoles

Los polifenoles son un contaminante natural presente en casi todos los tipos de jugos de frutas (Figura 14). El término polifenol se refiere a un compuesto químico comúnmente encontrado en la piel exterior de las frutas.

Existe gran cantidad de compuestos del polifenol, entre ellos los taninos, antocianinos, fragancias y los ácidos cinámicos, cada uno de los cuales poseen diferentes propiedades, una característica especial de estos compuestos es que todos ellos decoloran los jugos de frutas y también a ciertos productos naturales como por ejemplo al azúcar. Además, muchos de estos compuestos reaccionan junto con las proteínas para producir sedimentos o grumos en los jugos (Ingle, 2003).

Los fabricantes de jugos han buscado intensamente técnicas para disminuir los niveles de polifenol en sus productos y así obtener una mejor apariencia y más larga vida útil de sus jugos.



Figura 14. Jugos que requieren eliminación de polifenoles.
Fuente: Moreno, 2006.

Los polifenoles son un contaminante natural presente en casi todos los tipos de jugos de frutas. El término polifenol se refiere a un compuesto químico comúnmente encontrado en la piel exterior de las frutas. Existe gran cantidad de compuestos del polifenol, entre ellos los taninos, antocianinos, fragancias y los ácidos cinámicos, cada uno de los cuales poseen diferentes propiedades. Una característica especial de estos compuestos es que todos ellos son especies de color que decoloran los jugos de frutas y también a ciertos productos naturales como por ejemplo al azúcar. Además, muchos de estos compuestos reaccionan junto con las proteínas para producir sedimentos o grumos en los jugos. Los procesadores de jugos han buscado intensamente técnicas para disminuir los niveles de polifenol en sus productos y así obtener una mejor apariencia y más larga vida útil de sus jugos (Ingle, 2003).

El carbón activado se usa desde hace tiempo para el procesamiento de jugos, el mismo permite remover todas las impurezas del producto. Se sabe que el carbón remueve todos los componentes que afectan al color del jugo, y no aquellos componentes que afectan al gusto que se le quiere dar al jugo. Por lo tanto, la industria juguera continua buscando el tipo de carbón que mejor remueva a los polifenoles. La respuesta no es simple ya que, la dificultad radica en las grandes diferencias que existen en los distintos tipos de polifenoles. Además, muchos de estos compuestos forman sales clohóridicas que mejoran su solubilidad en el jugo, y por lo tanto, reducen el poder filtrante del carbón.

El punto central del problema de los polifenoles no es el color que se obtiene luego del tratamiento con el carbón, sino más bien la estabilidad del color. Por otro lado, si reducimos el nivel de polifenoles en la etapa inicial del tratamiento con carbón, esto no asegura que el color mantendrá su estabilidad inicial.

Existe un tipo de reacción que se produce entre algunos restos contaminantes que puede llegar a oscurecer el producto, especialmente si este se encuentra almacenado para su añejamiento a altas temperaturas. Por lo tanto, podríamos concluir que remover a los precursores de los polifenoles, en vez de tratar de reducir los niveles de polifenol durante el proceso de filtrado, sería lo más acertado. Es aquí donde la elección del carbón activado se hace crítica.

La elección del mejor carbón activado se realiza teniendo en cuenta ciertos aspectos, entre ellos el nivel de polifenol que queda luego del tratamiento. Sin

embargo, existe el peligro de que si es necesario una gran cantidad de carbón para disminuir el nivel de polifenol, el jugo puede quedar con un sabor desagradable. Esto es lo que generalmente pasa con los carbones químicamente activados procedentes de China. Estos carbones poseen un alto nivel de extractos de metal pesado que hacen que el jugo tenga un desagradable sabor metálico. Además, la mayoría de estos carbones remueven mucho del sabor de los jugos, dejando un producto de mala calidad.

A raíz de lo anterior, se considera que los carbones ideales para estos productos son aquellos derivados de la madera, ya que han sido químicamente activados con ácido fosfórico y no con cloruro de zinc. Luego del proceso de activación del carbón, este debe ser bien lavado para remover todos los restos de ácido fosfórico o del cloruro de zinc en el caso de los carbones chinos. El ácido fosfórico es mucho más fácil de sacar y no deja restos de metales pesados como el zinc o el plomo en el carbón.

Los carbones activados con ácido fosfórico remueven las moléculas responsables del color del jugo y no aquellas que le dan sabor al producto. Cuando una partida de jugo posee un alto grado de polifenoles o algún problema con la estabilidad de su color, se debería realizar tratamientos adicionales. A veces, este problema se soluciona incrementando ligeramente la cantidad de carbón utilizado, así el nivel de polifenol puede llevarse a los niveles aceptables. Si este procedimiento no alcanza, puede utilizarse una pequeña dosis de carbón activado mediante vapor, como por ejemplo Norit SX

o Darco S-51, para disminuir los niveles de polifenol. En ciertas ocasiones, el carbón activado no es la solución al problema y por lo tanto, otras técnicas como por ejemplo intercambio de iones o adición de enzimas podría ayudar. Estas últimas dos técnicas mencionadas pueden llevarse a cabo conjuntamente con el uso del carbón (Ingle, 2003 y Norit, 2005).

Remoción de los sabores indeseados del vino

Un tema completamente distinto lo constituye la eliminación del vino de sabores indeseados sin alterar su típico sabor y aroma. El sabor del vino se origina en distintas fuentes en el proceso de su elaboración: las uvas, el proceso de fermentación y en las distintas etapas del añejamiento (barril y botella). Los componentes orgánicos no volátiles del vino, tales como los ácidos orgánicos (ácido málico, ácido láctico) y los polifenoles son los que determinan su sabor. El sabor del vino está determinado predominantemente por los componentes orgánicos volátiles tales como los ácidos volátiles (ácido acético), alcoholes ligeros, aceites esenciales, esterres orgánicos, etc. Los componentes que generan un sabor indeseado pueden eliminarse mediante un tratamiento con un carbón activado de estructura porosa fina (Norit, 2005).

3.7 Situación mundial

3.7.1 Consumo, producción y expectativas de uso del carbón activado

El incremento en la contaminación ambiental ha resultado en el crecimiento de la demanda del carbón activado usado en la remoción de contaminantes tanto

de líquidos como de gases. Las expectativas del crecimiento en el consumo global se espera sea de alrededor del 4% de 650,000 toneladas producidas por año en 1998 a 750,000 ton en 2002 y a alrededor de 840,000 ton en 2005 de acuerdo a los datos proporcionados por el "Current Industrial Reports" en 1998 citado por Robau, (2004 a) y Roskill (2005). Actualmente, la capacidad instalada supera las 800,000 toneladas por año, pudiendo expandirse o crecer por arriba de 30,000 ton por año. La capacidad de producción mundial del carbón activado continúa excediendo a la demanda, y esto ha impactado presionando hacia abajo los precios de éste en la década pasada.

Por otra parte, las plantas de producción están cambiando de lugar de los países occidentales industrializados se han movido hacia China y al Sureste de Asia, donde los costos de materia prima, energía y mano de obra son más baratos. Por ejemplo, la producción realizada entre 1998 y 2002 excedió las 40,000 toneladas por año, de ellas más de un tercio fue producido en China y poco menos de un tercio en el Sureste de Asia. En cambio, Australia y EUA, redujeron los excedentes en su capacidad en el mismo período (Kenneth, 2005).

Por otra parte, las exportaciones chinas de carbón activado se han cuadruplicado entre los años 1995 y 1997, de 53,230 a 224,331 toneladas. Un análisis de los datos de mercado indica que mucho de este material fue exportado a otras naciones de Asia para su procesamiento ulterior. Sin embargo, las exportaciones a EU, Unión Europea y Japón se incrementaron en

un 60%, de 32,168 toneladas en 1995 a 51,744 toneladas en 1997, mientras que el valor de las exportaciones disminuyó en un 16%, de 783 USD/ton a 660 USD/ton, lo cual contrasta con el valor promedio de importación en EU, 1476 USD/ton (Robau, 2004 a).

Al mismo tiempo la capacidad de regenerar o reactivar carbón activado se estima sea de 100,000 toneladas por año creando un exceso. Sin embargo, el índice de crecimiento en capacidad de la regeneración puede retardarse aproximadamente en el 2005, pues algunos mercados están sufriendo de capacidad excesiva después de los crecimientos de los últimos años. Conjuntamente, la afluencia de las importaciones baratas de carbón activado nuevo de China también está ejerciendo presión en el mercado de la regeneración (Roskill, 2005).

Un panorama de los mercados potenciales indica que el cambio de las operaciones de producción se están cambiando de los países occidentales ahora se instalan en Asia y esto es ilustrado con la decisión de Calgon Carbon's para abrir una nueva planta a la provincia de Datong de China, mientras que cierra otra en Bélgica y racionaliza sus operaciones en los EUA (Roskill, 2005). Éste cambio es probable y continuará hasta mediados de la presente década. El crecimiento potencial mundial en 2005 excede en 32,000 toneladas, dos tercios del cual son de China, esto basado principalmente en el carbón mineral de sus reservas localizadas. El crecimiento más grande es planteado por la planta de carbón activado Liyuan de Sanxing en la provincia de Datong, que

planea incrementar su producción por más de seis veces. Actualmente, la mayor producción de cáscara de coco para manufactura de carbón activado está concentrada en países del lejano oriente como Filipinas (Laine, 1998 y Roskill, 2005).

La introducción de una legislación ambiental más rigurosa en todo el mundo asegura el crecimiento futuro en la demanda para el carbón activado. El tratamiento de aguas proporciona el mercado más grande y el área principal del crecimiento para el carbón activado. La demanda del mundo en este mercado se pronosticó que aumentaría en 4-5% entre 2002 y 2005, con tasas de crecimiento de 5-6% proyectadas para los EUA y tasas de crecimiento más altas para los países en vías de desarrollo de América latina y de Asia (Roskill, 2005; Laine, 1998). Como ejemplo la planta de carbón activado de Baracoa, Cuba, única de su tipo en el Caribe, recibe mejoras tecnológicas para aumentar la eficiencia energética y entregar un producto de mayor calidad. Diseñada para producir 500 toneladas al año, hoy está por debajo de su capacidad en 250 toneladas, por lo cual fue necesario sustituir carbones importados y estabilizar el suministro de materia prima a partir de la concha de coco (Ochoa, 2005).

En ese mismo sentido en la década de los 80`s, la industria azucarera, que era la base fundamental de la economía cubana, consumía de 3 a 4 mil toneladas de carbón activado, para la producción de azúcar refino y desembolsaba entre 3 y 5 millones de dólares por este concepto. Sobre esta base la Academia de Ciencias de Cuba (ACC) creó el programa científico-técnico PCT-08, en el que

agrupó varias instituciones, con el fin de desarrollar una tecnología a partir de materias primas nacionales para la producción de carbón activado (García *et al.*, 2001).

El Centro de Investigaciones para la Industria Minero-Metalúrgica (CIPIMM), a solicitud de la ACC y sobre la base de un potencial científico-técnico de experiencia y, con cierto nivel de recursos materiales, inició su trabajo en el referido programa y a finales de 1986 reforzó su línea de investigación sobre carbón activado, combinando criterios prácticos, para con rigurosidad científica poder brindar la información necesaria que permitiere la toma de decisiones a nivel del país de producir carbón activado con el máximo de componentes nacionales, así como aportar micro producciones comercializables y perfeccionar la línea de trabajo, conscientes de que este campo abarca no sólo la solución de la refinación de azúcar sino a otras muchas posibilidades de sustitución de importaciones, tales como carbones para: tratamiento de agua, tratamiento de gases, purificación de alcoholes, uso militar, aplicaciones en la industria médico-farmacéutica, etc. (García *et al.*, 2001).

Por otro lado, la preocupación por ataques biológicos terroristas podría dar lugar a un incremento en la demanda para el carbón activado usado en los filtros de las caretas antigás lo mismo que para la ropa de protección personal de plantas nucleares, bacteriológicas y químicas. Un gran mercado potencial es el uso del carbón activado para quitar el mercurio de las emisiones del carbón de centrales eléctricas (Roskill, 2005).

El tratamiento de aguas es el mayor mercado, representado cerca del 35% del consumo a nivel mundial y ha llevado al incremento de la demanda. El consumo en los Estados Unidos en el tratamiento de agua potable, agua residual industrial y municipal y aguas subterráneas se incrementó en 11% por año, de 46,000 toneladas a 78,100 toneladas de 1992 a 1997. Un incremento similar ocurrió en la Unión Europea y Japón como resultados de mayores estándares de calidad del agua introducidos en 1994 (Roskill, 2005, Robau, 2004 a).

Se pronostica que la demanda mundial de carbón activado aumentará un 5.3 % anualmente hasta llegar a más de un millón de toneladas métricas en 2007, según un informe titulado World Activated Carbon (Carbón Activado Mundial) publicado en julio de 2005 por el Grupo Freedonia, una empresa de consultoría basada en Cleveland, Ohio. Con un valor proyectado de US\$1,200 millones, el crecimiento esperado será el más rápido en los mercados maduros como Estados Unidos y Europa Occidental. Los mercados industriales emergentes en Asia y aquellos mercados más pequeños de Latinoamérica, Europa Oriental y África están listos para crecer y aumentar su producción; un mayor énfasis en asuntos ambientales en los países en vías de desarrollo impulsará estos avances (Kenneth, 2005).

En 1997, se registró un cambio en el mercado de carbón activado. El consumo en EU se incrementó alrededor de un 5% a un nivel record de 165,000 toneladas, aunque este incremento no prosiguió en 1998. Son optimistas los pronósticos de un futuro crecimiento en la industria del carbón activado. El

consumo se ha estimado que crezca en un 3 a 5 % anual en los países industrializados mientras que el crecimiento en Asia y América Latina se proyecta en un 10% por año a partir del 2000 y hasta mediados de la actual década (Robau, 2004 a y Kenneth, 2005).

La capacidad de producción mundial se concentra en tres países. Estados Unidos, China y Japón se estima que producen el 60% de todo el carbón activado a nivel mundial. La compañía "NORIT" sigue siendo el mayor productor, con unas 120,000 toneladas por año. Calgon Carbón se mantiene en segundo lugar con 96,000 toneladas/año mientras que Westvaco ocupa el tercer lugar con algo más de 50,000 toneladas por año (Robau, 2004 a; Norit, 2005 y Kenneth, 2005).

Derivado de los estudios y análisis realizados, por el CIMAV y dirigidos por el Dr. Alejandro Robau Sánchez (1998), encontraron que Estados Unidos el mayor consumidor de carbón activado en el mundo presentó el comportamiento de exportaciones, importaciones y consumo aparente y distribución de consumo que se observa en los Cuadros 2, 3, 4 y 5.

Cuadro 2. Exportaciones de carbón activado de Estados Unidos en 1997

País importador	Cantidad (toneladas)	Valor (millones de dólares)	Valor promedio de exportación (dólares /tonelada)
Argentina	247	0.48	1943
Unión Europea	5150	9.2	1786
Canadá	7039	11.97	1701
Colombia	256	0.46	1797
Republica Dominicana	835	0.7	838
Francia	43	0.16	3721
Alemania	252	0.69	2738
Indonesia	349	0.81	2321
Italia	83	0.16	1928
Japón	5710	10.78	1888
Corea del Sur	1038	2.87	2765
México	1651	3.13	1896
Holanda	3262	6.36	1950
Filipinas	143	0.24	1678
Singapur	741	3.02	4076
Taiwán	558	0.98	1756
Tailandia	129	0.31	2403
Reino Unido	3351	5.46	1629
Venezuela	1038	2.45	2360
Otros	5893	12.41	2106
Total	37768	72.64	43280

Fuente: Current Industrial Reports, 1997.

Cuadro 3. Importaciones de carbón activado de Estados Unidos en 1997.

País exportador	Cantidad (toneladas)	Valor (millones de dólares)	Valor promedio de importación (dólares /tonelada).
Brasil	1,292	0.89	689
China	12,584	9.5	755
Francia	2,512	8.46	3368
Alemania	163	1.15	7055
Indonesia	456	0.55	1206
Japón	950	7.11	7484
Malasia	1,166	1.26	1081
México	2,005	3.05	1521
Holanda	1,255	3.54	2821
Filipinas	9,905	13.00	1312
Sri Lanka	6,629	7.68	1159
Tailandia	1,359	1.45	1067
Reino Unido	813	2.5	3075
Otros	485	1.2	2474
Total	41,574	61.34	35,067

Fuente: Current Industrial Reports, 1997.

Cuadro 4. Consumo aparente de carbón activado en Estados Unidos.

Año	Producción	Importación	Exportación	Consumo aparente
1986	88.5	5.7	14.5	79.7
1987	98.7	14	16.2	96.5
1988	107.3	10.0	15.7	101.6
1989	108.8	19.5	18.2	110.1
1990	117.6	19.4	20.8	116.1
1991	116.9	18.6	24.7	110.8
1992	119.6	26.5	26.8	119.3
1993	130.5	24.4	31.6	123.3
1994	142.9	26.6	27.4	142.1
1995	141.8	30.6	32.9	139.5
1996	154.4	38.8	35.5	157.7
1997	...	41.6	37.8	165.6

Fuente: Current Industrial Reports, 1997.

Cuadro 5. Distribución del consumo en Estados Unidos en 1997.

Fase líquida	Toneladas
Aguas	
Potable	39,735
Industrial y municipal	29,14
Subterránea	9,27
Subtotal	78,145
Alimentos y bebidas	
Edulcorantes	15,89
Otros	5,3
Subtotal	21,19
Minería	6,62
Uso doméstico	6,62
Farmacéuticos	5,3
Otros	14,575
Subtotal	132,45
Fase gas	
Purificación de aire	9,6
Recuperación de solventes	8,28
Control de emisión de automóviles	6,62
Otros	8,61
Subtotal	33,11
Total	165,56

Fuente: Current Industrial Reports, 1997.

El consumo en los Estados Unidos en el tratamiento de agua potable, agua residual industrial y municipal y aguas subterráneas se incrementó en 11% por año, de 46,000 toneladas a 78,100 toneladas de 1992 a 1997. Un incremento similar ocurrió en la Unión Europea y Japón como resultados de mayores estándares de calidad del agua introducidos en 1994 (Robau, 2004 a).

Considerando el incremento esperado para los países industrializados del "Current Industrial Reports" de 5% a partir de 1997, se estimó un consumo aproximado para Estados Unidos de 201,240 toneladas para el 2002 (Robau, 2004 b).

Tamaño total del mercado, nuevos requerimientos y tendencias

El consumo mundial de carbón activado fue estimado en 540,000 toneladas en 1997 y se esperaba que en el 2002 fuera de 950,000 toneladas según el último estudio sobre el tema que realizó a nivel mundial el "Current Industrial Reports" en 1997 (aproximadamente cada cuatro años se realiza uno nuevo). Sin embargo, según Roskill (2005) la producción solo alcanzó las 750,000 toneladas para ese año. El tratamiento de aguas es el mayor mercado, representado cerca del 35% a nivel mundial.

BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

El Cuadro 6 muestra la distribución del consumo por uso final para 1997.

Cuadro 6. Distribución del consumo por uso final para 1997

	Consumo, %
Tratamiento de aguas	35
Purificación de gases	25
Recuperación de oro	16
Procesamiento de alimentos	15
Recuperación de solventes	3
Otros	6
Total	100

Fuente: Current Industrial Reports, 1997.

Distribución geográfica del mercado de consumo.

Norit, el mayor productor mundial de carbón activado, reportó áreas de crecimiento de consumo de la siguiente manera (Norit, 2005):

Tratamiento de aguas en Norteamérica. Tratamiento de gases de combustión en Alemania, Bélgica y Japón. Control de emisiones de automóviles en la Unión Europea, Sudeste asiático y Japón. Recuperación de oro en Sudáfrica y Sudeste asiático. Producción de alimentos y bebidas en América Latina. Sector farmacéutico en Estados Unidos, Rusia e India. Industria química y producción de catalizadores en Europa.

El Cuadro 7 muestra el consumo por área geográfica.

Cuadro 7. Consumo de carbón activado por área geográfica.

Área geográfica	%
Estados Unidos	37
Europa occidental	31
Japón	18
Mancomunidad británica	10
Otros	4
Total	100

Fuente: Current Industrial Reports, 1997.

3.8 Situación nacional

Fue en 1960 cuando México comenzó a producir el carbón activado y éste dejó de ser un producto de importación exclusivamente (Gutiérrez y Rubio, 1985 y Cordero, 1979). Entre 1960 y 1979, las compañías; Polifos S.A. de C.V. (Subsidiaria de Química Hooker), Clarificantes de México S. A. y Nobrac, S. A. produjeron carbón activado (Clarimex, 2005; Norit, 2005 y Cordero, 1979), logrando una producción de 5 500 toneladas. Desde 1979, se ha incrementado el número de empresas productoras de carbón activado pero, aun así la producción en México no satisface actualmente la demanda interna de este producto, siendo importante continuar realizando investigación sobre los materiales carbonizables.

En México, una de las compañías pioneras de este nascente sector es Nobrac. Fundada en 1980 por la familia Groso, esta empresa, con sede en Guadalajara, Jalisco, es líder en la producción de carbón activado derivado a partir de la

cáscara de coco. En sus inicios, Nobrac se dedicaba a la producción de carbón de madera, pero, en 1992, decidió cambiar a la de cáscara de coco (Javier, 1998).

3.8.1 Consumo nacional de carbón activado.

El tamaño del consumo nacional fue de 9,200 toneladas de carbón activo para el 2002. Por otro lado, el consumo de Estados Unidos se estimó en 201,240 toneladas para ese mismo año.

Demanda por tipos de clientes a los que va dirigido el producto

La variedad de clientes potenciales del carbón activo a nivel nacional e internacional es muy amplia debido a las múltiples aplicaciones del producto tanto en su fase líquida como en su fase gaseosa:

Algunos de los clientes potenciales, de acuerdo a la utilización del carbón activado en su fase líquida son empresas ó instituciones dedicadas a (Robau, 2004 a):

- Tratamiento de agua residual
- Bebidas embotelladas
- Elaboración de cerveza
- Semiconductores
- Recuperación del oro

- Petroquímica
- Tratamiento de agua potable
- Piscinas

Algunos de los clientes potenciales, de acuerdo a la utilización del carbón activado en su fase gaseosa pueden ser empresas o instituciones dedicadas a (Robau, 2004 b):

- Recuperación de solventes orgánicos
- Purificación de bióxido de carbono
- Elaboración de respiradores industriales
- Disposición de desechos
- Fabricación de cigarrillos
- Fabricación de aires acondicionados
- Elaboración de fibras compuestas
- Fabricación de desodorizantes de refrigeradores

En México no se cuenta con datos estadísticos actuales para el carbón activo lo que hace difícil determinar su demanda a nivel nacional. El siguiente desglose de información en el Cuadro 8 justifica ese consumo:

Cuadro 8. Producción de carbón activado por México en 1997

Capacidad de producción			
toneladas por año			
País	Granular	Polvo	Total
México	3,310	8,650	11,960

Fuente: Current Industrial Reports citado por Robau, 2004 b.

Con la producción nacional de carbón activado y los datos de exportación e importación se determinó un consumo nacional aproximado de carbón activado para 1997 de 6,327 toneladas (Cuadro 9).

Cuadro 9. Consumo mexicano de carbón activado en 1998.

Producción/ton	Importación/ton	Exportación/ ton	Consumo Aproximado/ton
11,960	1,896	7,529	6,327

Fuente: Current Industrial Reports citado por Robau, (2004 a).

Considerando el incremento esperado para Latinoamérica del "Current Industrial Reports" de 10% a partir del 2000 y de 5% del 97 al 99 se estimó un consumo aproximado para México de 8,500 toneladas para el 2001 y de 9,200 toneladas para el 2002 (Robau, 2004 a).

En ese mismo sentido, con los datos de Robau (2005, a) se calculó que para el 2003, 2004 y 2005 el consumo de carbón activado en México fue de 9,900, 10,600 y 11,300 toneladas, respectivamente.

El Cuadro 10 muestra una lista de clientes potenciales ubicados por industria en la que se emplea el carbón activado a nivel nacional.

Cuadro 10. Mercado organizacional del carbón activado en México.

Industria	Total
Recuperación de Solventes	3
Respiradores Industriales	1
Fabricantes de Aires Acondicionados	18
Plantas y fabricantes de equipo para tratamiento de aguas residuales	75
Petroquímica	3
Ingenios azucareros	69
Embotelladoras	17
Total	186

Fuente: Datos parciales obtenidos del Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM).

Un ejemplo de consumo es la empresa Aga, propietario de la marca Pureza Aga, que es líder nacional en la venta de garrafones de agua de 19 litros, con ventas estimadas en 60 millones de unidades cada año y un consumo de carbón activado en su proceso de producción anual alrededor de 130 toneladas. (Javier, 1998). Otro de los principales consumidores de carbón activado son los 69 ingenios azucareros que consumieron 1,110.8 ton en 1998 (Cuadro 11).

Cuadro 11. Consumo de carbón activado para refinación de azúcar en 1998.

Unidad De Medida	TOTAL		Precio Medio	ORIGEN DE MERCADO	
	Cantidad (kg)	Valor En Pesos		En Pesos Corrientes Nacional	Extranjero
kg	1110808	15084000	13,579	13768000	1316000

Fuente: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1999.

3.8.2 Empresas que exportan e importan carbón activado en México

La relación de empresas que exportan o importan a través de la sub partida:

380210 correspondiente a carbón activado son: empresas exportadoras 41, importadoras 19 tal, como se muestra en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Relación de empresas que exportan o importan carbón activado en México.

Exportaciones	Importaciones
ABIATAR DE CONSUMO Y SERVICIOS, S.C. DE R.L. DE C.V.	ALMIDONES MEXICANOS SA DE CV
AQUA PRO INGENIERIA, S.A. DE C.V.	ANGUIANO Y WONG ASESORES, SA DE CV
ARMANDO OLIVAS GUTIERREZ	BEACHMOLD MEXICO S. DE R.L. DE C.V.
ATOTECH DE MEXICO, S.A. DE C.V.	CLARIMEX, S.A. DE C.V.
BASF MEXICANA S.A. DE C.V.	CONIP CONTRATISTAS SA DE CV
BEACHMOLD MEXICO S. DE R.L. DE C.V.	CUNO MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.
BRP MEXICO S.A DE C.V.	DELPHI DE MEXICO, S. A. DE C. V.
CLARIMEX, S.A. DE C.V.	FILTRANTES Y REFACCIONES INDUSTRIALES. SA. DE CV.
COLUMBIA FILTER CO. DE MEXICO,S.A. DE C.V.	FILTRONA DE MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.
COMERCIALIZADORA FAMEX, S.A. DE C.V.	GRUPO NOVEM, S.A. DE C.V.
COMEX PLATECH S.A. DE C.V.	INDUSTRIAS TUK S.A. DE C.V.
COMPANIA INDUSTRIAL ELECTROMECANICA S.A DE C.V.	INGENIO TRES VALLES, S.A. DE C.V.
CORDIS DE MEXICO, S.A. DE C.V.	K.M.G. DE MEXICO S.A. DE C.V.
CUNO MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.	KAYSER AUTOMOTIVE SYSTEMS S EN C
DELPHI INTERIOR SYSTEMS DE MEXICO, S. A. DE C. V.	MAHLE SISTEMAS DE FILTRACION DE MEXICO, S.A. DE C.V.
DESICCARE MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.	MINAS DE LA ALTA PIMERIA SA DE CV
DISPLAY ORION MEXICANA, S.A DE C.V.	PROCTER & GAMBLE INTERNATIONAL OPERATIONS S A
ECONEXT SYSTEMS S.A. DE C.V.	SURVIVAIR S DE RL DE CV
ELECTRO ENSAMBLES DE ACUÑA SA DE CV	WATER TEC DE MEXICO S.A. DE C.V.
ENSAMBLES DE PRECISION S.A. DE C.V.	
FILTRANTES Y REFACCIONES INDUSTRIALES. SA. DE CV.	
FILTRONA DE MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.	
GRAINGER S.A. DE C.V.	
HIDROBART, S.A DE C.V.,	
HIDROBART, S.A. DE C.V.	
INTERIORES AEREOS, S.A DE C.V.	
JVC INDUSTRIAL DE MEXICO S.A. DE C.V.	
KIDDE MATAMOROS S DE R. L. DE C.V.	
MAHLE SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE MEXICO, S.A. DE C.V.	
MINERA REAL DEL ORO S.A DE C.V.	
MINERALES Y MAQUILAS S.A. DE C.V.	
NORTH SAFETY DE MEXICALI, S. DE R. L. DE C. V.	
PPG INDUSTRIES DE MEXICO S.A. DE C.V.	
QUIMIR S.A. DE C.V.	
QUIMIR, S.A. DE C.V.	
RSI HOME PRODUCTS S.A. DE C.V.	
SAMSUNG SDI MEXICO S.A. DE C.V.	
SURVIVAIR S DE RL DE CV	
T.T.B. DE MEXICO S.A. DE C.V.	
TRATAMIENTO INTERAMERICANO DE AGUA, S.A. DE C.V.	
VALTO TECNOLOGIA S.A DE C.V.	

Fuente: Secretaría de Economía, 2006.

3.8.3 Comportamiento de la producción

Rendimiento

El consumo de materia prima, con respecto al volumen de producción de Nobrac, es de 11 contra uno. Esto es, para crear una tonelada de carbón activado, se necesitan 11 toneladas de cáscara de coco. (Javier, 1998). Mientras que el rendimiento para la madera de *Pinus patula*, convertida a carbón activado por métodos químicos, según Herrera *et al.*, (2004) es de 43.79% de su peso anhidro y para la misma especie el carbón cuando es activado con vapor de agua su rendimiento es de 13.12%, esto es para producir una tonelada de carbón activado a partir de madera de pino se necesitará 2,283 kg de madera anhidra con el método químico y 7,621 kg por métodos físicos, la diferencia radica en que la calidad es pobre con el método químico.

Producción

Para 1997, México tuvo una producción de 11,960 toneladas y a partir de ahí se esperaba que la producción creciera a tasas de crecimiento mayores al 7% anual, es decir para 2005 la producción se esperaba que fuera de 21,988 toneladas.

La competencia a nivel nacional se encuentra ubicada en los principales polos industriales del país, y abarca en su mayoría al DF, y los estados de Jalisco y

Colima. En el mercado internacional, la principal competencia son empresas asiáticas europeas y norteamericanas (Robau, 2004 b).

En 1997, la empresa Nobrac alcanzó una producción de 800 toneladas de carbón activado y, de este total, 95 % correspondió al tipo granulado, dirigido especialmente a las plantas tratadoras y servicios de potabilización; el cinco por ciento restante sirvió en empresas refresqueras e ingenios azucareros, estos últimos para el proceso de refinación (Javier, 1998).

3.8.4 Precios de carbón activado

Derivado de los distintos tipos de carbones, de su materia prima y uso final los precios del carbón activado varían como se demuestra en el siguiente párrafo.

Por ejemplo, el precio promedio del carbón activado en el mercado nacional es de \$12 pesos (US\$ 1.2 por kilogramo), (Javier, 1998). Mientras que de acuerdo a un proyecto realizado por Robau, (2005 a) y basado en el "Current Industrial Reports", el precio de venta ponderado para el proyecto, sería de \$14,779.00 pesos por tonelada producida (el precio de venta esperado en el año 1998 y 1999 para el mercado nacional era de \$20,000.00 pesos por tonelada, mientras que, para el mercado estadounidense, el precio de exportación estimado fue de \$1,500.00 dólares \$14,250.00 pesos) por tonelada. Sin embargo, el precio promedio reportado en la compra de los ingenios azucareros para refinación el precio fue de \$13.579 por kilogramo.

Por otro lado, derivado de cálculos propios se encontró que los precios promedio durante el periodo 2003-2005 se comportaron del siguiente modo:

Precios FOB; US\$ 1.286, US\$ 1.329 y US\$ 1.293 por kilogramo en 2003, 2004 y 2005 respectivamente.

Precios CIF; US\$ 2.625, US\$ 2.645 y US\$ 2.654 por kilogramo en 2003, 2004 y 2005 respectivamente.

Sin en cambio, se espera que el crecimiento sea más alto en términos de valor debido a precios más elevados como los carbones activados granulares o impregnados también para la fibra de celulosa (rayón) activada (Roskill, 2005).

4. METODOLOGÍA

4.1 Fases de la investigación

Se realizó la investigación de los usos, tecnología y estadísticas de importación y exportación del carbón activado en diferentes medios, incluyendo información disponible en Internet. Así mismo, se visitaron cuatro centros e instituciones donde se está desarrollando el conocimiento acerca de este producto de donde se allegó bibliografía y entrevistas personales de su quehacer en la investigación de este producto, además se consultaron bases de información estadística.

En una primera fase se realizó una amplia consulta bibliografica relacionada con los usos y la tecnología del carbón activado. En la segunda fase se consultaron las estadísticas del carbón activado. En una tercera fase, se hicieron los cálculos para analizar la balanza comercial. En la cuarta y última fase, se analizó la información y se redactó el documento final.

4.2 Obtención de la información

Para la primera fase se consultó la bibliografía disponible en el país, además de más de 300 distintas páginas de Internet concernientes al tema, de las cuales sólo se utilizaron 76. También se visitó a dos de los más importantes centros de investigación de carbón activado: el Centro de Investigación de Materiales

Avanzados (CIMAV) en la ciudad de Chihuahua y el Departamento de Madera Celulosa y Papel (DEMCyP) de la U de G., en Guadalajara, Jalisco, en donde se consultaron bases de información bibliográfica.

Para la segunda fase se consultó la información de los flujos comerciales obtenida del sistema SIAVI 2 (2006) (Sistema de información Arancelaria Vía Internet) de la *Secretaría de Economía (2006)* y del *World Trade Atlas (2005)* sistema concesionado por Bancomext (Banco de Comercio Exterior) así como información necesaria del *Banco de México (2006)*.

4.3 Sistematización de la información

Para la primera fase, se seleccionó el material más importante que podría ser de utilidad para la investigación, organizándolo por carpetas y estas a su vez por temas.

Para la segunda fase, se sistematizó la información conforme a los procedimientos que a continuación se describen, utilizando el paquete Excel para realizar las operaciones y cálculos.

4.4 Procedimientos de cálculo de la balanza comercial

Para analizar la balanza comercial mexicana de carbón activado, el área de estudio investigó el intercambio comercial (exportaciones e importaciones) de

este producto que México ha realizado con la comunidad internacional durante el periodo de 1995 a 2005.

La información de los flujos comerciales se obtuvo de la *Secretaría de Economía (2006)* y del *World Trade Atlas (2005)* a nivel de fracción arancelaria que contiene la balanza comercial del carbón activado. La fracción fue la 38021001 correspondiente al carbón activado.

En ambos sistemas la fracción, contiene el valor total en millones de dólares americanos de exportaciones e importaciones desglosado a nivel de país con quien México, en el periodo indicado, ha mantenido un intercambio comercial de carbón activado.

Para analizar los flujos comerciales, los datos en dólares fueron transformados a pesos mexicanos utilizando para ello el tipo de cambio promedio anual que reporta el *Banco de México (2006)*. Para ser comparable la información entre años, se deflactó con el índice nacional de precios al consumidor con año base de 2002 que también reporta el *Banco de México (2006)*.

Las herramientas de análisis utilizadas para medir el crecimiento de las exportaciones, importaciones y el saldo de comercio, fue la tasa de crecimiento medio anual, la cual refleja en términos relativos el efecto de la apertura comercial que México ha tenido en sus intercambios comerciales, así como, el promedio aritmético que refleja el cambio en términos absolutos del valor de las

exportaciones, importaciones y el saldo de comercio exterior. Las expresiones matemáticas son:

$$tcma = \left(\left(\text{anti ln} \left(\frac{\ln VF - \ln VA}{n} \right) - 1 \right) \right) * 100 \quad (1)$$

Donde:

anti ln = Antilogaritmo natural

tcma = Tasa de crecimiento media anual

ln VF = Logaritmo del valor futuro

ln VA = Logaritmo del valor actual

n = número de años

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} \quad (2)$$

Donde:

$\bar{X}$ = Promedio aritmético

$\sum X$ = Sumatoria de observaciones

n = número de años

La importancia relativa del valor de las exportaciones e importaciones de la fracción y países, con respecto al valor total de exportaciones e importaciones

de la balanza comercial del carbón activado, se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\% = \frac{X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} \quad (3)$$

Donde:

% = Porcentaje de importaciones y/o exportaciones.

X_i = Valor de exportación, importación ó saldo.

$\sum X_i$ = Valor total de exportación, importación ó saldo.

Para medir si el intercambio comercial que México realiza a nivel mundial es de tipo interindustrial o intraindustrial de acuerdo con Ledesma y Mungaray (2000) y León y Dussel (2001), se puede utilizar el índice de comercio intraindustrial propuesto por Grubel y Lloyd (citados por Islas *et al.*, 2005). El argumento según Ledesma y Mungaray (2000) es que un determinado sector exportador de un país exporta bienes manufacturados hacia otro país y este mismo sector importa bienes diferentes de los que exportó, entonces se estará realizando un comercio interindustrial, es decir, entre industrias diferentes de dos países. Por otra parte, cuando un sector industrial exporta e importa a la vez los mismos productos, pero diferenciados solamente por alguna característica como: la marca, el color, la innovación y la calidad, se estará originando un comercio

intraindustrial o de doble sentido, o sea, dentro de una misma industria. La fórmula del índice de comercio intraindustrial es:

$$b_i = \frac{[(X_i + M_i) - |X_i - M_i|]}{(X_i + M_i)} \quad (4)$$

Donde:

b_i = Índice de comercio intraindustrial.

X_i = Valor de las exportaciones en el año i .

M_i = Valor de las importaciones en el año i .

$(X_i + M_i)$ = Valor total de comercio.

$|X_i - M_i|$ = Saldo comercial en valor absoluto.

Ledesma y Mungaray (2000) definen que b_i oscila entre 0 y 1. Por tanto, si dicho valor está cercano a 0, significa que todo el comercio de una industria es interindustrial, clasificándose como importadora ó exportadora neta, es decir, como una industria que sólo exporta sin realizar importaciones y viceversa. En cambio si un b_i tiende a 1, significa que el comercio dentro de dicha industria es intraindustrial, consecuencia de una igualdad entre las exportaciones e importaciones. Por lo anterior, se considera que la existencia de comercio intraindustrial indica un comercio equilibrado dentro de una industria. Para efectos de medición e interpretación, se considera que una industria realiza un comercio de ese tipo si obtiene por lo menos una b_i de 0.5, y que si es menor se considera interindustrial ó bien de bajo volumen de comercio exterior. Lo

anterior, se sustenta en que un b_i con valores inferiores a 0.5 garantiza que en cualquier rama industrial, considerada como de comercio interindustrial, las exportaciones superan a las importaciones y viceversa en una proporción de por lo menos 3 a 1, lo cual indica que los flujos de comercio son unidireccionales.

Otro índice es el que propone De la Rosa (2001) el cual denomina grado de apertura. Este índice relaciona el desempeño exportador y el crecimiento económico. El argumento para incluir este índice es que a mayor crecimiento económico la actividad comercial internacional se incrementa. La fórmula del índice de apertura es:

$$gp = \frac{(X_i + M_i)}{PIB} \quad (5)$$

Donde:

gp = Índice de grado de apertura.

X_i = Valor de las exportaciones.

M_i = Valor de las importaciones.

PIB = Valor del Producto Interno Bruto del sector.

El índice que mide la relación entre la balanza comercial neta y el flujo total de exportaciones e importaciones entre dos países respecto al mismo bien, se denomina balanza comercial relativa. Este índice permite establecer el grado de

ventaja ó desventaja comparativa existente y comparar su evolución en el tiempo. Fue propuesto por Bela Balassa citado por Islas *et al.*, (2005), siendo una variante del índice de Grubel-Lloyd citados por Islas *et al.*, (2005), sobre comercio interindustrial ó intraindustrial. Su expresión matemática es:

$$bcr = \frac{(X_i - M_i)}{(X_i + M_i)} \quad (6)$$

Donde:

bcr = Índice de grado de apertura.

X_i = Valor de las exportaciones.

M_i = Valor de la importaciones.

El índice puede tener un rango de variación entre -1 y 1. Si es mayor que cero, se trata de un sector exportador y por ende, competitivo. Si es menor que cero, se trata de un sector importador carente de competitividad frente al mercado externo.

Otra forma de interpretar el índice es con las siguientes escalas: a) entre +0.33 y +1 existe ventaja para el país; b) entre -0.33 y -1 existe desventaja para el país y c) entre -0.33 y +0.33 existe tendencia hacia un comercio intraindustrial.

5. RESULTADOS

5.1 Parámetros estimados

Las herramientas de análisis utilizadas para la balanza comercial son las siguientes expresiones matemáticas y estadísticas:

$$tcma = \left(\left(\text{anti ln} \left(\frac{\ln VF - \ln VA}{n} \right) - 1 \right) \right) * 100 \dots\dots\dots (1)$$

Tasa de crecimiento medio anual.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} \dots\dots\dots (2)$$

Media aritmética.

$$\% = \frac{X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} \dots\dots\dots (3)$$

Porcentaje de exportación o de importación.

$$b_i = \frac{|(X_i + M_i) - |X_i - M_i||}{(X_i + M_i)} \dots\dots\dots (4)$$

Índice de comercio intraindustrial.

$$gp = \frac{(X_i + M_i)}{PIB} \dots\dots\dots (5)$$

Índice grado de apertura.

$$bcr = \frac{(X_i - M_i)}{(X_i + M_i)} \dots\dots\dots (6)$$

Índice grado de apertura de Bela.

Las expresiones aquí presentadas se encuentran bien definidas y descritas en el capítulo de metodología, por lo que los resultados sólo se enuncian como referencia de la ecuación y de su resultado.

5.2 Resultados estadísticos

Antes de analizar los flujos comerciales, los datos en dólares fueron transformados a pesos mexicanos y para ser comparable la información entre años, se deflactó con el índice nacional de precios al consumidor con año base de 2002. Estos cálculos fueron realizados en el paquete Excel de Microsoft y se anexan al final del trabajo. Aparecen como: importación y exportación mexicana de carbón activado en dólares, luego ellos mismos en pesos y por último en pesos deflactados con base julio 2002.

Exportación

Los resultados para analizar los flujos comerciales y obtenidos de aplicar la metodología antes descrita se presentan a continuación:

En el Cuadro 13 se muestran las diferentes tasas de crecimiento medio de las exportaciones de carbón activado de México al mundo en el periodo del 2003-2005, y aún cuando se cuenta, con los datos del 2006 no se utilizaron por no estar completos ya que estos datos son parciales hasta el mes de Septiembre.

Cuadro 13. Exportación (en pesos) y tasa de crecimiento medio anual de carbón activado de México a distintos países.

Pais	2003	2004	2005	tcma
-- MUNDO --	5793421,70	4267920,05	1722954,33	-45,466
GUATEMALA	557012,24	572112,43	512239,22	-4,103
CHILE	1573034,29	1127948,17	223709,44	-62,289
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	744880,27	480316,81	560983,42	-13,218
ARGENTINA	601713,30	242730,58	211482,79	-40,715
COSTA RICA	339068,84	160503,43	155698,71	-32,236
PERÚ	0,00	10494,46	0,00	-----
PANAMÁ	0,00	275870,42	0,00	-----
JAPÓN	0,00	154330,22	0,00	-----
CUBA	1316332,81	455171,28	0,00	-----
COLOMBIA	429974,72	163322,53	0,00	-----
Otros países	231405,21	625119,72	58840,74	-49,574

Fuente: Elaboración directa.

Por otro lado, hasta antes del 2003 no hay datos de exportación del carbón activado en los sistemas, SIAVI 2 y World Trade Atlas, por lo cual se puede asumir que antes de este año no hay exportaciones.

Así mismo, los diez países que se encuentran enlistados en la tabla anterior son los que representan el mayor porcentaje de exportación de carbón activado de México hacia ellos. Las cantidades están en pesos mexicanos a excepción de la tcma (tasa de crecimiento media anual) la cual se describe a continuación y que corresponde a la ecuación (1).

En todas las exportaciones durante el periodo se muestran tasas negativas de crecimiento, es decir, hay decrementos de las exportaciones mexicanas que en promedio tiene una tasa de -45,466% (decrementos del cuarenta y cinco punto cuatrocientos sesenta y seis por ciento), los países que no registraron tasas al

no haber importado de México hacia ellos durante el ultimo año del periodo fueron: Perú, Panamá, Japón, Cuba y Colombia. Los países que registraron menores tasas de crecimiento fueron Chile decreciendo en el 62.2% lo que representa que, de cerca de millón y medio de pesos exportados en el 2003 sólo exportó doscientos veintitrés mil pesos al final del periodo. En segundo lugar, Argentina con el -40.7% seguido de Costa Rica con el -32.2%. Los países más estables en sus exportaciones fueron Guatemala y Estados Unidos con el -4.1 y -13.2%, respectivamente, pero aun con tasas negativas.

Posteriormente, se analizaron las exportaciones con los resultados obtenidos de aplicar la ecuación (2). Con lo cual, se obtuvo la información del Cuadro 14.

Cuadro 14. Exportaciones promedio, en pesos, durante el periodo 2003 – 2005.

País	Media aritmética
-- MUNDO --	3928098,69
GUATEMALA	547121,30
CHILE	974897,30
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	595393,50
ARGENTINA	351975,56
COSTA RICA	218423,66
PERÚ	3498,15
PANAMÁ	91956,81
JAPÓN	51443,41
CUBA	590501,36
COLOMBIA	197765,75
Otros países	305121,89

Fuente: Elaboración directa.

La media de exportaciones de carbón activado (CA) en pesos durante el periodo 2003 al 2005 de México hacia el mundo fue de \$3, 928,098.69 (tres millones novecientos veintiocho mil noventa y ocho pesos con sesenta y nueve

centavos). Chile fue el país que en promedio, durante el periodo, gastó más dinero en importar carbón activado de México con el 25% de las exportaciones mexicanas con un monto de \$974,897.30 (novecientos setenta y cuatro mil ochocientos noventa y siete pesos con treinta centavos); en segundo lugar, con el 15% cada uno, Estados Unidos de América y Cuba con \$595,393.50 (quinientos noventa y cinco mil trescientos noventa y tres pesos con cincuenta centavos) y \$590,501.36 (quinientos noventa mil quinientos un pesos con treinta y seis centavos) respectivamente; de cerca en tercer lugar Guatemala con el 14% y \$547,121.30 (quinientos cuarenta y siete mil ciento veintiún pesos con treinta centavos) y en cuarto lugar Argentina con el 9% que representa \$351,975.56 (trescientos cincuenta y un mil novecientos setenta y cinco pesos con cincuenta y seis centavos) (Cuadro 14 y Figura 15).

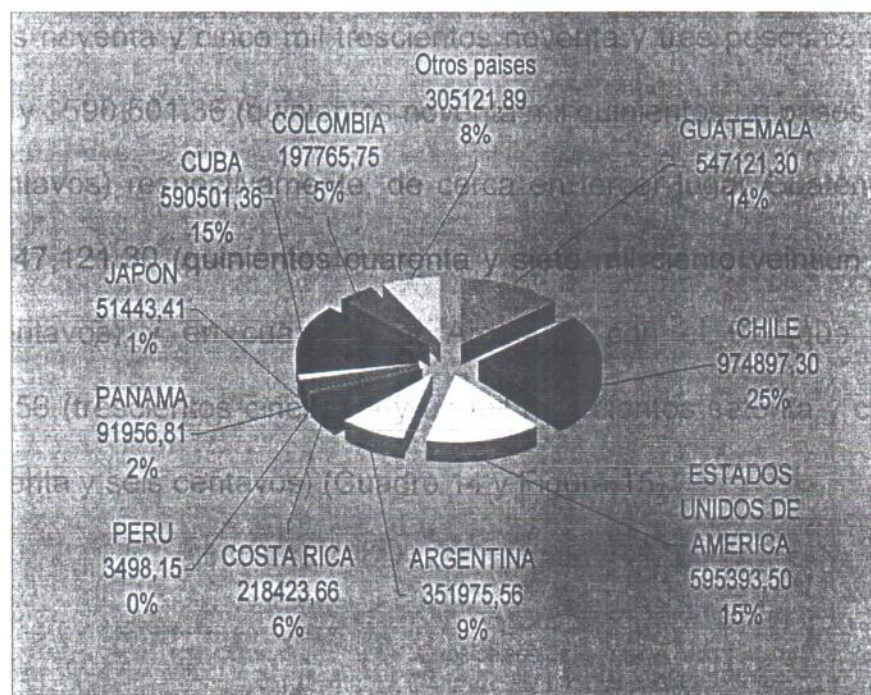


Figura 15. Exportaciones promedio de carbón activado de México hacia el mundo.

Para las exportaciones también se analizaron los resultados obtenidos de aplicar la ecuación (3), los cuales se presentan en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Porcentaje de exportaciones de carbón activado por año y por país en pesos.

País	2003	%	2004	%	2005	%
-- MUNDO --	5793421,70	100,00	4267920,05	100,00	1722954,33	100,00
GUATEMALA	557012,24	9,61	572112,43	13,40	512239,22	29,73
CHILE	1573034,29	27,15	1127948,17	26,43	223709,44	12,98
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	744880,27	12,86	480316,81	11,25	560983,42	32,56
ARGENTINA	601713,30	10,39	242730,58	5,69	211482,79	12,27
COSTA RICA	339068,84	5,85	160503,43	3,76	155698,71	9,04
PERÚ	0,00	0,00	10494,46	0,25	0,00	0,00
PANAMÁ	0,00	0,00	275870,42	6,46	0,00	0,00
JAPÓN	0,00	0,00	154330,22	3,62	0,00	0,00
CUBA	1316332,81	22,72	455171,28	10,66	0,00	0,00
COLOMBIA	429974,72	7,42	163322,53	3,83	0,00	0,00
Otros países	231405,21	3,99	625119,72	14,65	58840,74	3,42

Fuente: Elaboración directa.

En el año 2003, los porcentajes de exportación de carbón activado de México en pesos, se dividieron del siguiente modo, a donde más se exportó fue a Chile con el 27.15% lo que representó \$1, 573,034.29 (Un millón quinientos setenta y tres mil treinta y cuatro pesos con veintinueve centavos), seguido de Cuba con el 22.72% lo que en dinero representa \$1,316,332.81 (Un millón trescientos dieciséis mil trescientos treinta y dos pesos con ochenta y un centavos), en tercer y cuarto lugar EUA y Argentina con el 12.86% y 10.39%, respectivamente (Figura 16).

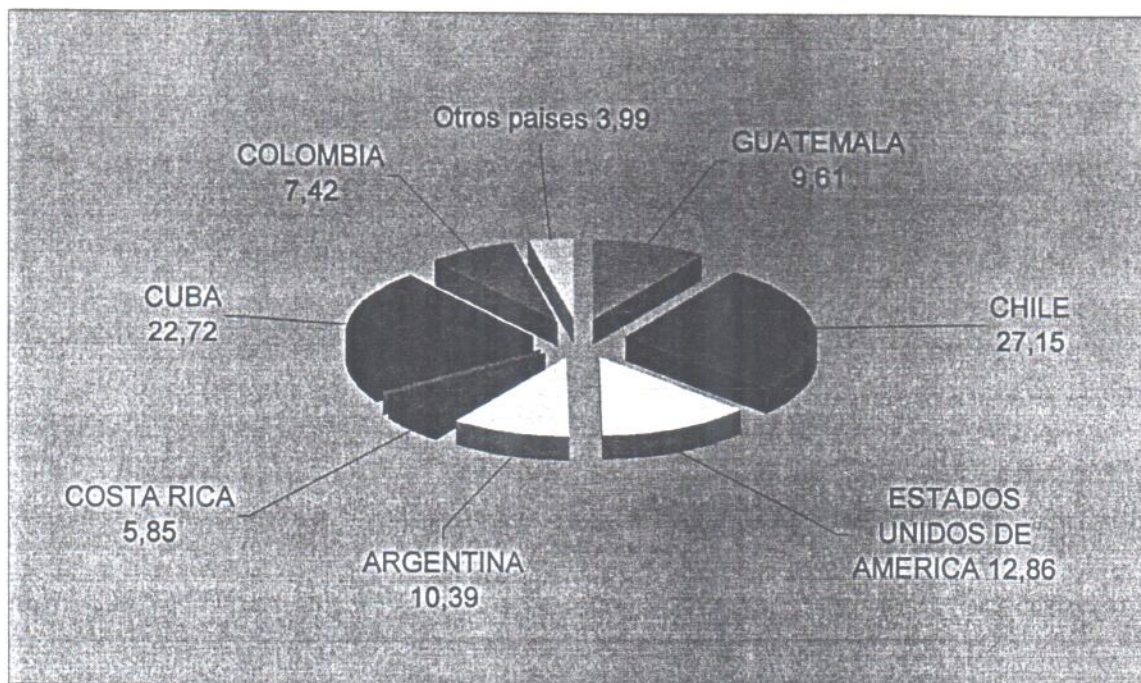


Figura 16. Porcentajes de exportaciones mexicanas de carbón activado durante el 2003.

En el año 2004, los porcentajes de exportación, en pesos, se dividieron del siguiente modo, adonde más se exporto nuevamente fue Chile con el 26.43% lo que representó \$1,127,948.17 (Un millón ciento veintisiete mil novecientos cuarenta y ocho pesos con diecisiete centavos); seguido de Guatemala con el 13.40% lo que en dinero representa \$572,112.43 (Quinientos setenta y dos mil ciento doce pesos con cuarenta y tres centavos); en tercer y cuarto lugar EUA y Cuba con el 11.25% y 10.66%, respectivamente. Note que aún cuando los números indican que a Guatemala se incrementaron sus porcentajes de exportación, realmente se mantuvo con aproximadamente la misma cantidad de dinero que el año anterior (Figura 17).

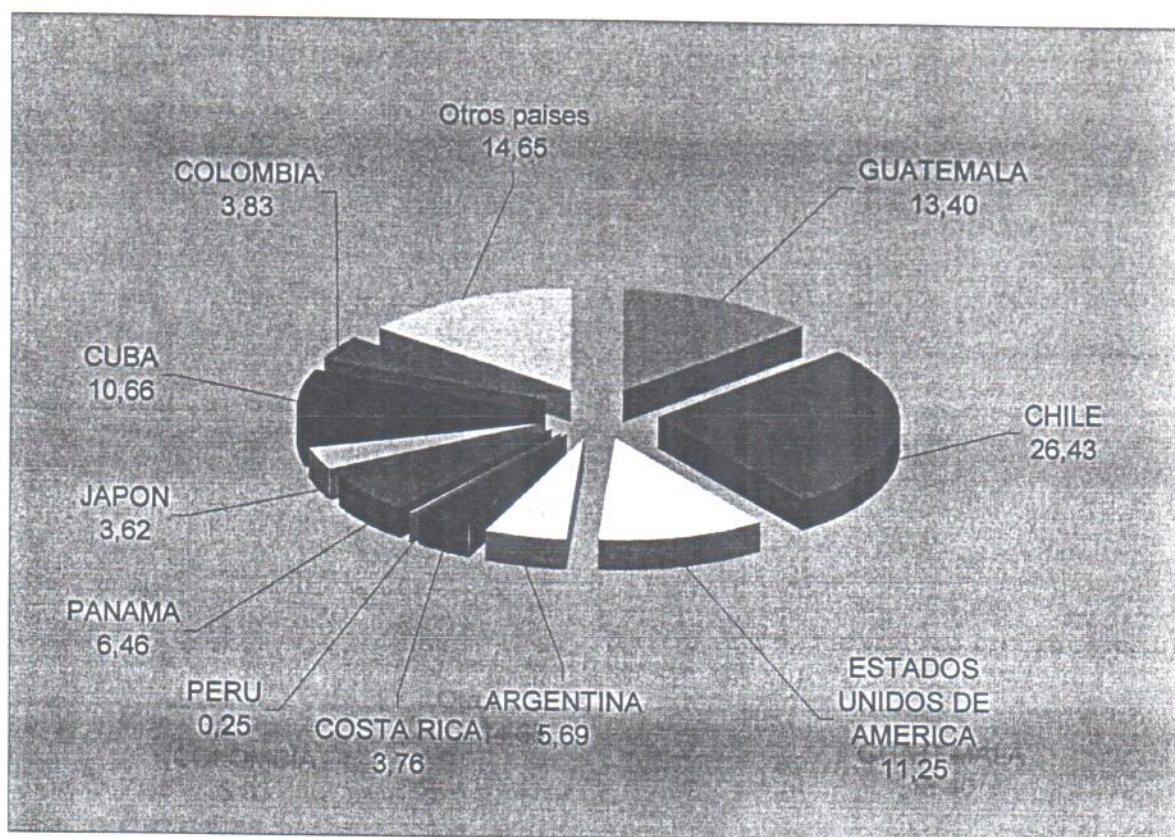


Figura 17. Gráfica que muestra los porcentajes de exportación mexicanas de carbón activado a diferentes países durante el 2004.

En el año 2005, los porcentajes de exportación, en pesos, se dividieron del siguiente modo: quien más exportó fue EUA con el 32.56% lo que representó \$560,983.42 (quinientos sesenta mil novecientos ochenta y pesos con cuarenta y dos centavos), seguido de Guatemala con el 29.73% lo que en dinero representa \$512,239.22 (Quinientos doce mil doscientos treinta y nueve pesos con cuarenta y veintidós centavos) en tercer y cuarto lugar Chile y Argentina con el 11.98% y 10.27%, respectivamente. Note que aún cuando los porcentajes indican que Guatemala incremento sus porcentajes notablemente, realmente, se mantuvieron con la cantidad de dinero que el año anterior o incluso un poco menos (Figura 18).

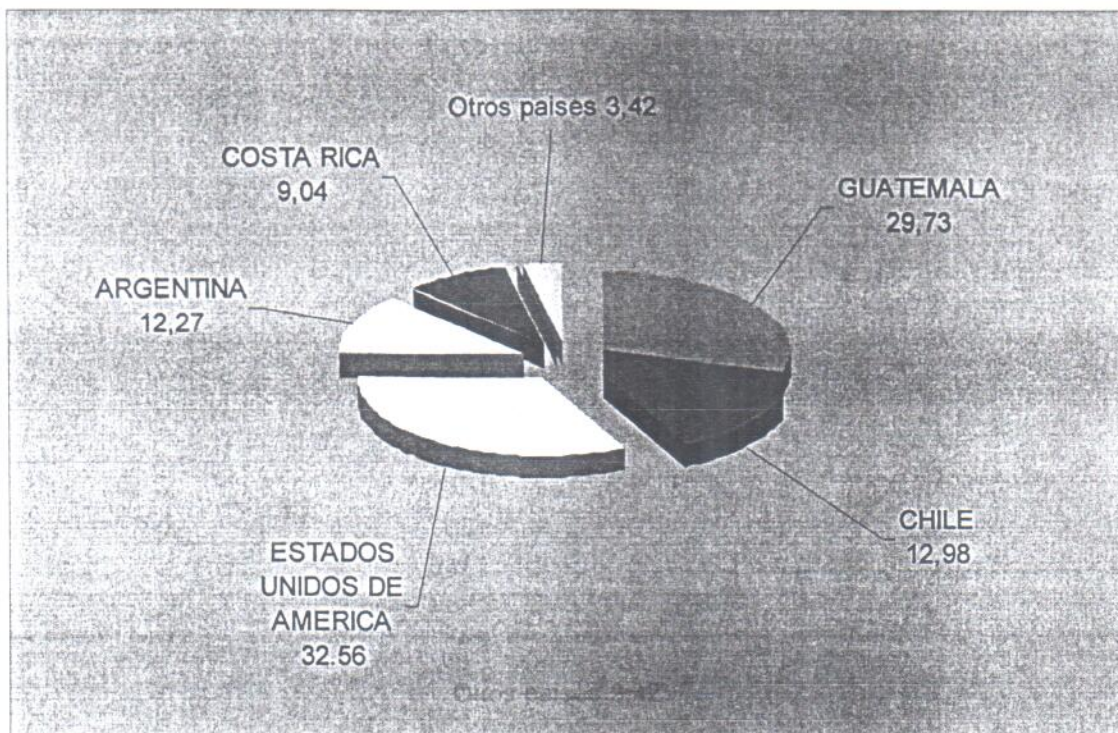


Figura 18. Porcentajes de exportaciones mexicanas de carbón activado a diferentes países durante el 2005.

Análisis de resultados de la exportación

Los 18 países a los que México durante el periodo 2003-2005 exportó CA fueron los siguientes; Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, España, Estados Unidos de América, Guatemala, Japón, Nicaragua, Panamá, Perú y Venezuela. Con un total de exportaciones de \$11,784,296.1 durante el periodo.

De los países que importaron carbón activado de México durante el periodo, quien más estable se mantuvo en sus compras fue Guatemala con una media de \$547,121.30, lo que se vio reflejado en su tcma de -4.1%. En los años se comportó del siguiente modo: en 2003, gastó \$557,012.24, en 2004 gastó

\$572,112.43 y en 2005 gastó \$512,239.22, con un gasto del periodo de \$1, 641,363.9 colocando a dicho país en el cuarto lugar en compras.

El segundo país más estable fue Estados Unidos con un tcma de -13.2% y un gasto promedio de \$595,393.50 (quinientos noventa y cinco mil trescientos noventa y tres pesos con cincuenta centavos), y un total en el periodo (2003-2005) de \$1, 786,180.5. No así es el segundo país con más gasto de carbón activado.

Por otro lado, quien más exportó carbón activado durante el mismo periodo fue Chile con 24,8% del total de las exportaciones de todos los países y \$2, 924,691.9, pero por otra parte fue quien tuvo los mayores decrementos en sus exportaciones ya que tuvo una tcma de -62.2% esto debido a que durante 2003 y 2004 se mantuvo en primer lugar no obstante para el 2005 cayó al cuarto lugar en las exportaciones mexicanas de carbón activado.

El tercer lugar de las exportaciones del periodo fue Cuba, quien en 2003 ocupó el segundo lugar con el 22.72% lo que en dinero representa \$1, 316,332.81 (Un millón trescientos dieciséis mil trescientos treinta y dos pesos con ochenta y un centavos), y en 2004 el cuarto con el 10.66%. Sin embargo, para 2005 no registró compras, por lo tanto no pudo obtenerse la tcma de él.

Por ultimo, en quinto lugar Argentina con una media de \$351,975.56 (trescientos cincuenta y un mil novecientos setenta y cinco pesos con cincuenta

y seis centavos) que representa 9% de las exportaciones mexicanas totales y un total de \$1, 055,926.7 de carbón activado durante el periodo, la terna que obtuvo fue de -40.7% lo que lo coloca en el segundo lugar de los países que más desaceleraron el crecimiento de las exportaciones mexicanas en el periodo 2003-2005.

Importación

Al igual que con los datos de exportaciones mexicanas de carbón activado antes de analizar los datos encontrados en dólares estos fueron transformados a pesos mexicanos (se anexa en disco las tasa de cambio). Y para ser comparable la información entre años, se deflactó con el índice nacional de precios al consumidor (INPC) con año base de 2002 (se anexa INPC en disco).

En el Cuadro 16, se muestran las diferentes tasas de crecimiento medio, de la importación de carbón activado que México hizo al mundo en el periodo de 1995 al 2005, las cuales se deben al precio de éste. Por otra parte, y aún cuando se cuenta con los datos del 2006 no se utilizaron, ya que los datos son parciales hasta el mes de septiembre.

Gráfico 16. Tasa de crecimiento medio de la importación de carbón activado

Gráfico 17. Tasa de crecimiento medio de la importación de carbón activado

Cuadro 16. Tasas de crecimiento medio anual de las importaciones mexicanas de carbón activado durante el periodo 1995 – 2005.

País	Tcma
-- MUNDO --	-0,95461
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	-2,71693
G BRETAÑA E IRLA	-5,34971
FRANCIA	20,42205
PAÍSES BAJOS	5,51922
JAPÓN	-16,49381
COREA DEL SUR	1,98930
CANADÁ	-48,90706
ALEMANIA	-28,29352
FILIPINAS	34,34587
CHINA	10,90831
Resto del Mundo	64,26009

Fuente: Elaboración directa.

Por otro lado, los diez países que se encuentran enlistados en la tabla anterior son los que representan el mayor porcentaje de importación de carbón activado de México. Las tcma (tasa de crecimiento media anual) se refiere a las importaciones mexicanas y corresponden a la ecuación (1).

Como se observa en el Cuadro 16, de los diez principales países hay cinco cuyas tcma de importación están decreciendo. Por otra parte, la mitad restante muestra tcma positivas lo que indica que están creciendo.

En general, la tcma mundial es negativa lo que puede interpretarse que la producción nacional está recuperando el mercado que ocupaban las importaciones. Por otra parte, quien más ha dejado de importar es Canadá decreciendo en tasas de -48,90706% (menos cuarenta y ocho punto noventa por ciento) lo que podría ser positivo para México, le sigue Alemania y Japón

con el -28,29352% y -16,49381%, respectivamente; por ultimo, Gran Bretaña y EUA con el -5.3% y -2.7%.

De los países que muestran tcma positivas, quien más crece en sus exportaciones hacia México son Filipinas y Francia con el 34,34% y 20.42%, respectivamente, seguido por China, Países Bajos y Corea del Sur con tcma de 10.9%, 5.5% y 1.9%, respectivamente. Por lo que se puede deducir que las exportaciones asiáticas representadas primeramente por Filipinas están manteniendo y aumentando sus exportaciones hacia México.

Cabe señalar que Gran Bretaña e Irlanda al igual que Países Bajos, dentro del periodo 1995-2005, comenzaron a exportar carbón activado hacia México desde 1998, Japón y Corea del Sur desde 1999, Canadá desde 1997, Alemania, Filipinas y China desde 1996 y sólo Estados Unidos y Francia desde 1995. Por lo que las tcma fueron analizadas desde donde empieza su entrada a las exportaciones de carbón activado hacia México.

Posteriormente, se analizaron las importaciones mexicanas con los resultados obtenidos al aplicar la ecuación (2).

En el Cuadro 17, se muestran las importaciones mexicanas promedio durante el periodo 1995-2005.

Importaciones Mexicanas de Carbón Activado

Cuadro 17. Importaciones mexicanas promedio de carbón activado durante el periodo 1995 – 2005.

País	Media Aritmética
-- MUNDO --	8380188,86
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	7291554,07
G BRETAÑA E IRLA	376104,41
FRANCIA	111548,40
PAÍSES BAJOS	58147,11
JAPÓN	178042,87
COREA DEL SUR	3587,79
CANADÁ	37599,52
ALEMANIA	10130,99
FILIPINAS	148615,82
CHINA	98451,63
Resto del Mundo	66406,26

Fuente: Elaboración directa.

La media mundial fue de \$8, 380,188.86, de los cuales el 87.094% fue de EUA y del restante 12.99%. La distribución relativa fue la siguiente: el 36% fue de Gran Bretaña e Irlanda, de Japón el 16%, de Filipinas el 14%, de China el 9%, etc.

En la Figura 18, se representan los porcentajes relativos por país de las importaciones mexicanas de carbón activado a excepción de EUA quien representa del total más del 87% y lo mostrado en dicha Figura 19 por el restante 13%.

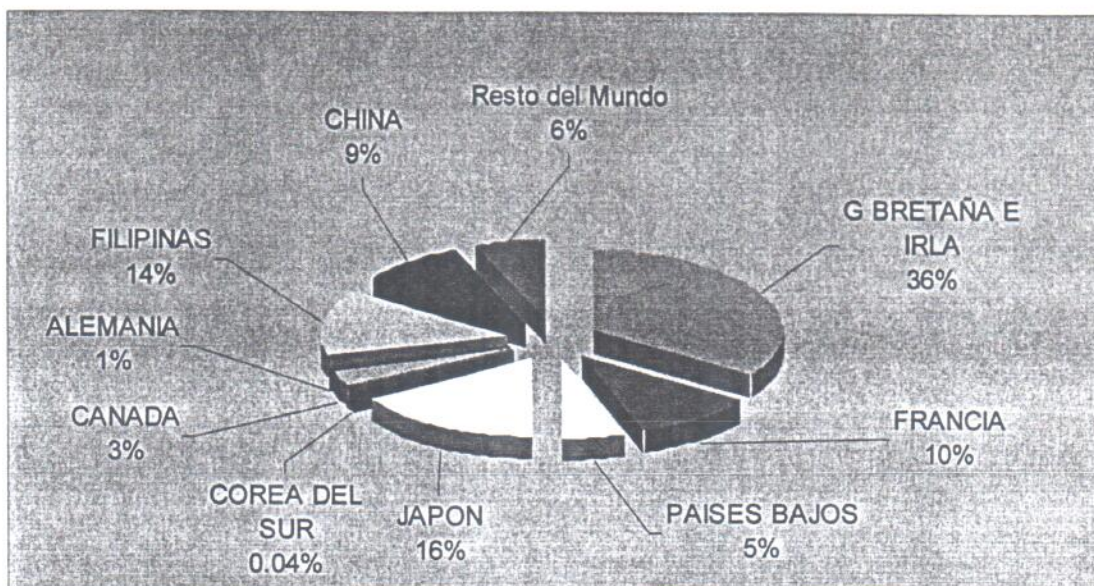


Figura 19. Distribución relativa de importaciones mexicanas promedio de carbón activado, sin considerar a E. U. A.

La distribución real de importaciones promedio fue del siguiente modo; EUA 87.094%, seguido por Gran Bretaña e Irlanda con el 4.48%, Japón el 2.12%, Filipinas con el 1.97%, Francia con el 1.33 y China con el 1.17% después con menos del 1% el resto de los países.

Para las importaciones también se analizaron los resultados obtenidos de aplicar la ecuación (3), lo que resultó en un análisis año por año del periodo 1995-2005 de los diez principales países que tuvieron participación en el comercio de este producto.

Para todos los años representados se consideraron los diez países más importantes en cuanto a sus importaciones promedio y habrá algunos años durante el periodo en que no tengan ninguna participación y aún así aparezcan,

esto con fines de homogeneizar los cuadros y la presentación de los mismos; sin embargo, en el análisis no aparecen dada su nula aportación.

Como se observa en el Cuadro 18, las importaciones de carbón activado para el año 1995 provenían casi exclusivamente de EUA con un 99.97% y sólo Francia aportaba el 0.03%. En total en ese año se importó \$11, 145,006.2.

Cuadro 18. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado en 1995

Pais	1995	%
-- MUNDO --	11145006,2	100
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	11141430,8	99,9679
G BRETAÑA E IRLA	0	0
FRANCIA	3575,4	0,0320
PAÍSES BAJOS	0	0
JAPÓN	0	0
COREA DEL SUR	0	0
CANADÁ	0	0
ALEMANIA	0	0
FILIPINAS	0	0
CHINA	0	0
Resto del Mundo	0	0

Fuente: Elaboración directa.

Para 1996 las importaciones mexicanas de carbón activado dejaron de ser exclusivas de EUA aunque este seguía liderándolas con el 93.96%, seguido de China con el 4.3% luego Filipinas con el 1.17% y Alemania con 0.5%. Para este año las importaciones tuvieron un drástico descenso con respecto del año anterior y sólo se importó \$3, 410,575.39 (tres millones cuatrocientos diez mil quinientos setenta y cinco pesos con treinta y nueve centavos) lo que significó el 326.77% (trescientos veintiséis punto setenta y siete por ciento) de disminución en la importación (Cuadro 19).

Cuadro 19. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado en 1996

País	1996	%
-- MUNDO --	3410575,39	100
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	3204711,10	93,9639
G BRETAÑA E IRLA	0	0
FRANCIA	0	0
PAÍSES BAJOS	0	0
JAPÓN	0	0
COREA DEL SUR	0	0
CANADÁ	0	0
ALEMANIA	18328,62	0,5374
FILIPINAS	40180,81	1,1781
CHINA	145706,49	4,2721
Resto del Mundo	1648,36	0,0483

Fuente: Elaboración directa.

Para el año de 1997, las importaciones mexicanas de carbón activado, EUA seguía liderándolas con el 90.41%, seguido de Canadá con el 6.1%, luego Alemania con el 1.79%, Filipinas con 1.61% y China con el 0.02%. Para este año las importaciones recuperaron parte del drástico descenso del año anterior y se recuperó importando \$5,309,948.61 (cinco millones trescientos nueve mil novecientos cuarenta y ocho pesos con sesenta y un centavos) lo que fue el 55.69% de aumento en la importación (Cuadro 20).

Cuadro 20. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado en 1997

País	1997	%
-- MUNDO --	5309948,61	100
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	4801179,34	90,4185
G BRETAÑA E IRLA	0	0
FRANCIA	0	0
PAÍSES BAJOS	0	0
JAPÓN	0	0
COREA DEL SUR	0	0
CANADÁ	323704,07	6,0961
ALEMANIA	95073,37	1,7904
FILIPINAS	85654,86	1,6131
CHINA	1201,80	0,0226
Resto del Mundo	3135,14	0,0590

Fuente: Elaboración directa.

Para el año de 1998 a las importaciones mexicanas de carbón activado aún seguía liderándolas EUA con el 65.66%, seguido de Francia con el 16.37%, luego Gran Bretaña con el 8.43% y China con 4.95%. Para este año las importaciones se recuperaron pero aún no lo suficiente para alcanzar las importaciones de 1995. Observe que EUA retrocedió grandemente en porcentaje no así en cantidad, de \$4, 801,179.33 subió a \$4, 862,536.71 (Cuadro 21).

Cuadro 21. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado en 1998.

Pais	1998	%
-- MUNDO --	7405521,28	100
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	4862536,71	65,6609
G BRETAÑA E IRLA	624554,35	8,4336
FRANCIA	1212589,86	16,3741
PAÍSES BAJOS	82834,17	1,1185
JAPÓN	0	0
COREA DEL SUR	0	0
CANADÁ	0	0
ALEMANIA	0	0
FILIPINAS	0	0
CHINA	366957,88	4,9551
Resto del Mundo	256048,29	3,4575

Fuente: Elaboración directa.

En el año de 1999 a las importaciones mexicanas de carbón activado, seguía liderándolas EUA con el 89.68%, seguido de Gran Bretaña con el 8.9%. Para este año las importaciones nuevamente retrocedieron en \$1,098,068.61 con respecto del año anterior, no así EUA quien aumentó sus ventas a México con \$794,145.92 (Cuadro 22).

Cuadro 22. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado en 1999.

País	1999	%
-- MUNDO --	6307452,67	100
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	5656682,63	89,6825
G BRETAÑA E IRLA	560072,901	8,8795
FRANCIA	29773,4875	0,4720
PAÍSES BAJOS	0	0
JAPÓN	20031,7704	0,3175
COREA DEL SUR	2333,34542	0,0369
CANADÁ	0	0
ALEMANIA	431,668902	0,0068
FILIPINAS	0	0
CHINA	0	0
Resto del Mundo	38126,8641	0,6044

Fuente: Elaboración directa.

En el año 2000, las importaciones mexicanas de carbón activado, siguió liderándolas EUA con el 94.68%, seguido de Gran Bretaña e Irlanda con el 4.01%. Para este año las importaciones se incrementaron, casi a los niveles de 1996 año en el que México más importó durante el periodo estudiado, importando \$12, 604,675.6 y esto debido a las compras que desde EUA realizó México (Cuadro 23).

Cuadro 23. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado en 2000

País	2000	%
-- MUNDO --	12604675,6	100
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	11935152,1	94,6882
G BRETAÑA E IRLA	506008,4	4,0144
FRANCIA	23600,2	0,1872
PAÍSES BAJOS	106859,8	0,8477
JAPÓN	6640,5	0,0526
COREA DEL SUR	2044,8	0,0162
CANADÁ	0	0
ALEMANIA	0	0
FILIPINAS	0	0
CHINA	0	0
Resto del Mundo	24369,6931	0,1933

Fuente: Elaboración directa.

Nuevamente para el año 2001 las importaciones mexicanas de carbón activado, seguían siendo lideradas por EUA con el 86.08%, seguido de Gran Bretaña e Irlanda con el 13.20%. Para este año las importaciones tuvieron un descenso con respecto al año anterior de \$5,025,404.97, lo cual representa más del 39.86% de disminución de importaciones de carbón activado (Cuadro 24).

Cuadro 24. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado en 2001.

Pais	2001	%
-- MUNDO --	7579270,63	100
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	6524397,65	86,0821307
G BRETAÑA E IRLA	1001161,7	13,2092091
FRANCIA	21721,3992	0,28658957
PAÍSES BAJOS	0	0
JAPÓN	16406,0681	0,21645972
COREA DEL SUR	0	0
CANADÁ	0	0
ALEMANIA	714,58411	0,00942814
FILIPINAS	0	0
CHINA	0	0
Resto del Mundo	14869,2228	0,19618277

Fuente: Elaboración directa.

Para el año 2002, las importaciones de carbón activado al país, seguían siendo lideradas por EUA con el 85.21%, seguido de Japón con el 9.69%. Para este año las importaciones incrementaron, con respecto al año anterior, colocándose carbón activado por \$10, 450,135.3 (Cuadro 25).

Cuadro 25. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado en 2002.

País	2002	%
-- MUNDO --	10450135,3	100
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	8904800,6	85,2122
G BRETAÑA E IRLA	0	0
FRANCIA	0	0
PAÍSES BAJOS	387420,4	3,7073
JAPÓN	1013473,7	9,6981
COREA DEL SUR	0	0
CANADÁ	112535,3	1,0768
ALEMANIA	298,8	0,0028
FILIPINAS	0	0
CHINA	30555,6	0,2923
Resto del Mundo	1050,6	0,0100

Fuente: Elaboración directa.

Para el año de 2003, las importaciones mexicanas de carbón activado aún seguía liderándolas EUA con el 83.88%, seguido de Japón con el 10.24%, luego Gran Bretaña con el 4.85%. Para este año las importaciones se mantuvieron con respecto al año anterior pero aún no lo suficiente para alcanzar las importaciones de 1995 (Cuadro 26).

Cuadro 26. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado en 2003

País	2003	%
-- MUNDO --	10427139,4	100
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	8746709,2	83,8840
G BRETAÑA E IRLA	506316,7	4,8557
FRANCIA	24008,7	0,2302
PAÍSES BAJOS	0	0
JAPÓN	1067881,4	10,2413
COREA DEL SUR	36049,2	0,3457
CANADÁ	13451,5	0,1290
ALEMANIA	1802,4	0,0172
FILIPINAS	0	0
CHINA	0	0
Resto del Mundo	30919,9	0,2965

Fuente: Elaboración directa.

Para el año 2004, las importaciones mexicanas de carbón activado aún seguía liderándolas EUA con el 83.66%, seguido de Gran Bretaña con el 11.97%, seguido por Filipinas con el 2.21% y China con el 1.34%. Para este año las importaciones disminuyeron con respecto al año anterior en \$3,096,433.2 lo que representa una disminución del 29.69% (Cuadro 27).

Cuadro 27. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado en 2004.

País	2004	%
-- MUNDO --	7330706,2	100
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	6133309,4	83,6660
G BRETAÑA E IRLA	877696,5	11,9728
FRANCIA	0	0
PAÍSES BAJOS	0	0
JAPÓN	5288,3	0,0721
COREA DEL SUR	0	0
CANADÁ	0	0
ALEMANIA	3487,8	0,0475
FILIPINAS	162427,4	2,2157
CHINA	98586,1	1,3448
Resto del Mundo	49910,3	0,6808

Fuente: Elaboración directa.

Por último, las importaciones que México realizó de carbón activado en el año 2005 muestran un aumento de ellas con respecto al año anterior en \$1,135,473.5, lo que es un aumento porcentual del 15.49%. Por otro lado, quien lideró las importaciones de este año fue EUA con el 84.2%, le sigue Filipinas con el 10.89% y China con el 1.98% (Cuadro 28).

Cuadro 28. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado en 2005.

País	2005	%
-- MUNDO --	8466179,69	100
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	7128842,36	84,2037686
G BRETAÑA E IRLA	12408,1368	0,14656123
FRANCIA	382,082735	0,00451305
PAÍSES BAJOS	0	0
JAPÓN	0	0
COREA DEL SUR	0	0
CANADÁ	0	0
ALEMANIA	515,811693	0,00609261
FILIPINAS	922280,858	10,8937076
CHINA	168450,726	1,98968994
Resto del Mundo	233299,718	2,75566698

Fuente: Elaboración directa.

En total, durante el periodo 1995-2005 México importó carbón activado por \$90, 436,611.05; principalmente de EUA con un total en el periodo de \$79, 039,751.94 es decir un 87.4% del total de las importaciones mexicanas durante el periodo. En el Cuadro 29, se muestra el resumen de las importaciones durante el periodo y sus porcentajes.

Cuadro 29. Porcentaje de importaciones mexicanas de carbón activado totales del periodo 1995 – 2005.

País	Total	%
-- MUNDO --	90436611,05	100
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	79039751,94	87,40
G BRETAÑA E IRLA	4088218,80	4,52
FRANCIA	1315651,32	1,45
PAÍSES BAJOS	577114,49	0,64
JAPÓN	2129721,95	2,35
COREA DEL SUR	40427,45	0,04
CANADÁ	449690,96	0,50
ALEMANIA	120653,20	0,13
FILIPINAS	1210543,96	1,34
CHINA	811458,70	0,90
Resto del Mundo	653378,30	0,72

Fuente: Elaboración directa.

En general la tendencia de las importaciones mexicanas (en pesos) de carbón activado se representan en la Figura 20, y se observa claramente que EUA domina las importaciones mexicanas con tendencia positiva en los últimos tres años, presentando su máximo en el 2000 y el mínimo en 1996.

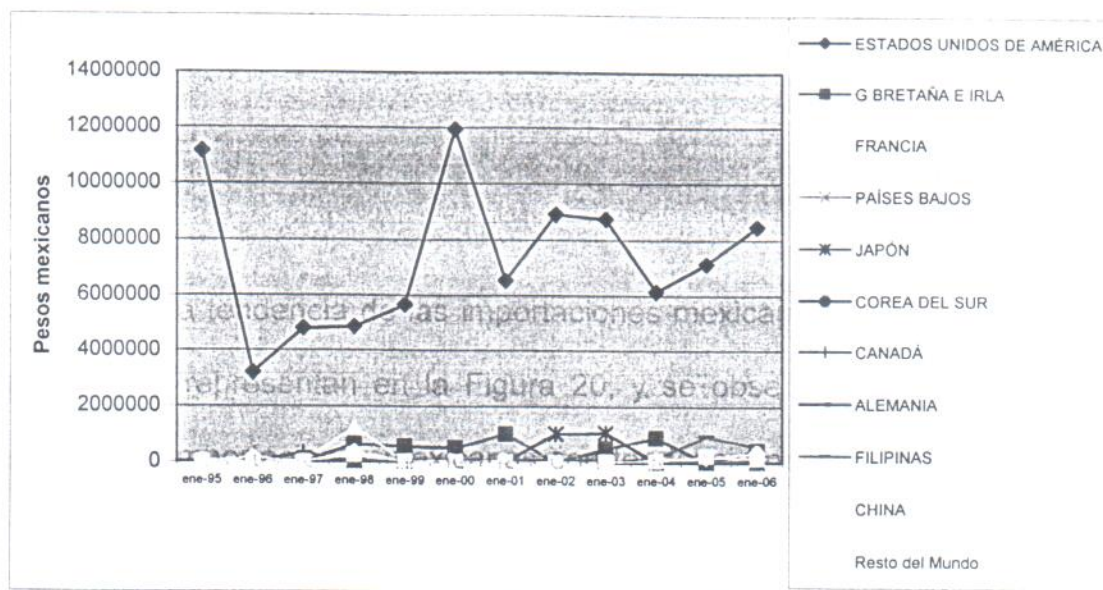


Figura 20. Tendencia de las importaciones mexicanas de carbón activado por país.

Análisis de resultados de importación

Los 20 países de los que México importó carbón activado durante el periodo 1995-2005, fueron los siguientes; Alemania, Australia, Austria, Canadá, China, Corea del Sur, Estados Unidos de América, Filipinas, Francia, Gran Bretaña e Irlanda, Israel, Italia, Japón, Países Bajos, Sri Lanka, Tailandia, Taiwán, Comunidad Económica Europea, España y Suecia (se anexa en disco datos de todos los años por país)

En el periodo referido los países citados en el párrafo anterior realizaron exportaciones por \$90, 436,611.05 (noventa millones cuatrocientos treinta y seis mil seiscientos once pesos con cinco centavos), con una media mundial de \$8, 380,188.86 (Ocho millones trescientos ochenta mil ciento ochenta y ocho pesos con ochenta y seis centavos). Sin embargo, hay que comparar las importaciones y las exportaciones en un mismo periodo de tiempo lo que significa que en el periodo 2003-2005 México realizó compras por \$26, 224,025.3. Por otro lado, la tasa de crecimiento medio anual (tcma) general de las importaciones es negativa lo cual puede ser benéfico para el país lo que significa que deja de comprar al extranjero lo que se produce en el país.

De los países que muestran tcma positivas quien más crece en sus exportaciones hacia México es Filipinas con el 34,34%. Sin embargo, Filipinas representa sólo el 1.3% de las importaciones totales de carbón activado, lo que lo coloca en el quinto lugar durante el periodo 1995-2005 con \$1, 210,543.96.

El segundo lugar con tcma positiva fue Francia con el 20.42%. Sin embargo, durante todo el periodo 1995-2005 vendió carbón activado a México por \$1, 315,651.3 (1,45%) ocupando el cuarto lugar del total Importado en el periodo.

El tercer lugar de los países que muestran tcma positivas es China con el 10,9%. Sin embargo, China representa sólo el 0.9% de las importaciones totales de carbón activado lo que lo coloca en el sexto lugar durante el periodo 1995-2005 con \$ 811,458.70.

El cuarto lugar de los países que muestran tcma positivas es Países Bajos con el 5,5%. Sin embargo, los Países Bajos representan sólo el 0,638% de las importaciones totales de carbón activado, lo que lo coloca en el séptimo lugar durante el periodo 1995-2005 con \$ 577,114.49.

Finalmente, el quinto y ultimo de los países que muestran tcma positivas es Corea del Sur con el 1,99%, sin embargo Corea del Sur representa sólo el 0,045% de las importaciones totales de carbón activado, lo que lo coloca en el décimo lugar durante el periodo 1995-2005 con \$ 40,427.4.

Por otro lado, los países que registraron tasas tcma negativas fueron los siguientes;

Quien más decrece en sus exportaciones hacia México con tcma negativas es Canadá con el -48,9%, Sin embargo, Canadá representa sólo el 0,49% de las importaciones totales de carbón activado, lo que lo coloca en el octavo lugar durante el periodo 1995-2005 con \$ 449,690.96; es decir, en promedio le vende a México \$44,969.1 anuales.

El segundo lugar, de los que decrecen en sus exportaciones hacia México con tcma negativas es Alemania con el -28,29%. Sin embargo, Alemania representa sólo el 0,13% de las importaciones totales de carbón activado, lo que lo coloca en el noveno lugar durante el periodo 1995-2005 con \$ 120,653.20.

El tercer lugar, de los que decrecen en sus exportaciones hacia México con tendencia negativa es Japón con el -16,49%. Sin embargo Japón representa sólo el 2,35% de las importaciones totales de carbón activado, lo que lo coloca en el tercer lugar durante el periodo 1995-2005 con \$ 2, 129,721.95.

El cuarto lugar, de los que decrecen en sus exportaciones hacia México con tendencia negativa es Gran Bretaña e Irlanda con el -5,35%. Sin embargo, Gran Bretaña e Irlanda representa sólo el 4,521 % de las importaciones totales de carbón activado, lo que lo coloca en el segundo lugar durante el periodo 1995-2005 con \$4, 088,218.80.

El quinto lugar, de los que decrecen en sus exportaciones hacia México con tendencia negativa es EUA con el -2,72%, pero hay que tomar en cuenta que es EUA el que representa casi la totalidad de las importaciones mexicanas con el 87,4% de las importaciones totales de carbón activado, lo que lo coloca en el primer lugar durante el periodo 1995-2005 con \$ 79, 039,751.94.

Índices de Comercio y Apertura

Posterior a analizar las exportaciones e importaciones con las ecuaciones (1, 2 y 3) se procedió al análisis de las mismas con los tres índices propuestos en la metodología y que corresponden a las ecuaciones (4), (5) y (6).

De la ecuación (4) se obtuvieron resultados que se muestran en los Cuadros 30, 31 y 32 y su respectiva información, cabe destacar que se realizó el análisis del Índice de Comercio Intraindustrial (b_i) a nivel mundial y a nivel países, de los cuales sólo se analizan a EUA y Japón, ya que son éstos los únicos que en algún momento del periodo 2003 a 2005, mantuvieron tanto exportaciones como importaciones y hay que recordar que para éste índice son necesarios ambos datos. De los demás países son netamente exportadores ó netamente importadores por lo que el índice para ellos no funciona.

En el Cuadro 30, se presenta el Índice de Comercio Intraindustrial entre México y el mundo en donde se interpreta que para los años 2003 y 2004 el b_i que es cercano a 1 nos indica que el comercio dentro de la misma industria es intraindustrial como consecuencia de una igualdad entre las exportaciones e importaciones. Por esta razón se considera que la existencia de comercio intraindustrial indica un comercio más equilibrado dentro de una industria. Por otro lado, para el año 2005 el comercio es más bien interindustrial o bien de bajo volumen de comercio exterior. Lo anterior se sustenta en que un b_i con valores inferiores a 0.5 garantiza que en cualquier rama industrial considerada como de comercio interindustrial, las exportaciones (importaciones) superan a las importaciones (exportaciones) en una proporción de por lo menos 3 a 1, lo cual indica que los flujos de comercio son unidireccionales. En este caso particular se observa que las importaciones fueron en una proporción de 5 a 1 con respecto de las exportaciones.

Cuadro 30. Índice de Comercio Intraindustrial entre México y el mundo.

	País	2003	2004	2005
Importaciones en pesos actualizados	-- MUNDO --	10427139,37	7330706,24	8466179,69
Exportaciones en pesos actualizados	-- MUNDO --	5793421,70	4267920,05	1722954,33
Índice de comercio Intraindustrial		0,7143	0,7359	0,3382

Fuente: Elaboración directa.

En el Cuadro 31 se observa que para todos los años del periodo 2003-2005 el b_i que es cercano a 0 (cero) significa que todo el comercio de determinada industria es interindustrial, por lo que se le puede clasificar como importadora ó exportadora neta; en este caso, se puede decir que México es importador neto de carbón activado proveniente de EUA. Un b_i de 0.5 ó menor se considera interindustrial ó bien de bajo volumen de comercio exterior. Lo anterior, se sustenta en que un b_i con valores inferiores a 0.5 garantiza que en cualquier rama industrial considerada como de comercio interindustrial, las exportaciones (importaciones) superan a las importaciones (exportaciones) en una proporción de por lo menos 3 a 1, lo cual indica que los flujos de comercio son unidireccionales en estos tres años, ya que las importaciones fueron en una proporción de 100 a 9 con respecto de las exportaciones en el 2003. Para el año 2004 la proporción fue de 100 a 8 con respecto de las exportaciones y para el 2005 la proporción se mantuvo en 100 a 8 de las importaciones con respecto a las exportaciones.

Cuadro 31. Índice de Comercio Intraindustrial entre México y EUA.

	País	2003	2004	2005
Importaciones en pesos actualizados	ESTADOS UNIDOS	8746709,25	6133309,47	7128842,36
Exportaciones en pesos actualizados	ESTADOS UNIDOS	744880,27	480316,81	560983,42
Índice de comercio Intraindustrial		0,1570	0,1453	0,1459

Fuente: Elaboración directa.

Por ultimo el índice b_i se aplicó para Japón que en el año 2004 tuvo lugar el intercambio comercial (exportaciones e importaciones) entre ambos países (Japón-México) resultando un índice demasiado bajo casi de cero lo que nos está indicando que las relaciones son prácticamente unidireccionales. En este caso dominan las exportaciones que México le realiza a Japón por lo que el comercio de carbón activado es interindustrial ó de bajo volumen. Las exportaciones para el año 2004 fueron en la proporción de 29 a 1 con respecto de las importaciones japonesas de carbón activado (Cuadro 32).

Cuadro 32. Índice de Comercio Intraindustrial entre México y Japón.

	País	2003	2004	2005
Importaciones en pesos actualizados	JAPÓN		5288,38	
Exportaciones en pesos actualizados	JAPÓN		154330,22	
Índice de comercio Intraindustrial			0,0663	

Fuente: Elaboración directa.

Posteriormente de la ecuación (5) se obtuvieron resultados que se presentan en los Cuadros 33, 34 y 35 con su respectiva información, cabe destacar que se realizó el análisis del Índice Grado de Apertura (gp) de las importaciones y

exportaciones totales, aplicando por separado el Producto Interno Bruto (PIB) Total (Cuadro 33), PIB Agropecuario, Silvicultura y Pesca (Cuadro 34) y PIB Industria Manufacturera (Cuadro 35), deflactados con año base 1993.

Cuadro 33. Índice Grado de Apertura aplicando el PIB Total.

		2003	2004	2005
Importaciones en pesos deflactados	Totales	10427139,37	7330706,24	8466179,69
Exportaciones actualizados en pesos	Totales	5793421,70	4267920,05	1722954,33
Producto Interno Bruto Total		1,63947E+12	1,70833E+12	1,75958E+12
Índice Grado de Apertura (gp).		0,00000989	0,00000679	0,00000579

Fuente: Elaboración directa.

Como se observa en el Cuadro 34, comparando los flujos de exportación e importación que realizó México con el mundo contra el Producto Interno Bruto. Total del país, se observa que no representan más allá de un 0.00099% de éste para el año 2003, que es cuando más se exportó e importó carbón activado; posteriormente, los índices bajan al 0.00068% y 0.00058%, lo que nos indica que en términos relativos el crecimiento económico disminuyó en los dos últimos años ya que la actividad comercial internacional también disminuyó de \$16,220,561.07 (Dieciséis millones doscientos veinte mil quinientos sesenta y un pesos con siete centavos) en el 2003 a \$11,598,626.29 (Once millones quinientos noventa y ocho mil seiscientos veintiséis pesos con treinta centavos) y \$10,189,134.02 (diez millones ciento ochenta y nueve mil ciento treinta y cuatro pesos con dos centavos) en 2004.

Posteriormente, a la suma de las exportaciones más las importaciones totales entre México y el mundo se les compararon contra el Producto Interno Bruto de la Industria Manufacturera que es al sector al que pertenece el carbón activado, más específicamente se encuentra en la Industria Química y dentro de ella en la partida especialidades químicas, sus resultados se muestran en el Cuadro 34.

Cuadro 34. Índice Grado de Apertura aplicando el PIB de la Industria Manufacturera.

		2003	2004	2005
Importaciones en pesos deflactados	Totales	10427139,37	7330706,24	8466179,69
Exportaciones actualizados en pesos	Totales	5793421,70	4267920,05	1722954,33
Producto Interno Bruto Industria Manufacturera		2,99128E+11	3,11691E+11	3,21042E+11
Índice Grado de Apertura (gp).		0,00005423	0,00003721	0,00003174

Fuente: Elaboración directa.

Como se observa en el Cuadro 34 comparando los flujos de exportación e importación que realizó México con el mundo contra el Producto Interno Bruto de la Industria Manufacturera del país, se observa que no representan más allá de un 0.0054% de éste para el año 2003, que es cuando más se exportó e importó carbón activado; posteriormente, los índices bajan al 0.0037% y 0.0031%, estos porcentajes son importantes ya que de todos los sectores que componen al PIB total el sector de la manufactura es el más grande entre ellos.

Por ultimo, se comparó la suma de exportaciones e importaciones contra el PIB Agropecuario, Silvicultura y Pesca, ya que se considera que el carbón activado

en casi su totalidad proviene de materiales de origen forestal y residuos agrícolas. Los resultados se muestran en el Cuadro 35.

Cuadro 35. Índice de Grado de Apertura aplicando el PIB Agropecuario, Silvicultura y Pesca.

		2003	2004	2005
Importaciones en pesos deflactados	Totales	10427139,37	7330706,24	8466179,69
Exportaciones actualizados en pesos	Totales	5793421,70	4267920,05	1722954,33
Producto Interno Bruto Agropecuario, Silvicultura y Pesca		8,83865E+10	9,20987E+10	9,48617E+10
Índice Grado de Apertura (gp).		0,00018352	0,00012594	0,00010741

Fuente: Elaboración directa.

Como se observa en el Cuadro 36, el índice mejora notablemente y representó en el 2003 un porcentaje de 0.02% de este sector y posteriormente de 0.012% y 0.010% para el 2004 y 2005, respectivamente.

Por ultimo se aplicó la ecuación (6) obteniéndose los resultados que se presentan en los Cuadros (36, 37 y 38) con su respectiva información, cabe destacar que se realizó el análisis del Índice Grado de Apertura de Bela (bcr) a nivel mundial y a nivel países, de los cuales sólo se analizan a EUA y Japón, ya que son éstos los únicos que en algún momento del periodo 2003 a 2005, mantuvieron tanto exportaciones como importaciones y hay que recordar que para este índice son necesarios ambos datos. De los demás países son netamente importadores ó netamente exportadores por lo que el índice para ellos no funciona ó darán como resultado valores de 1 ó -1 respectivamente.

Para los años 2003 y 2004 los índices se encuentran entre -0.33 y +0.33 con valores de -0.2856 y -0.2640, respectivamente, por lo que existe tendencia hacia un comercio intraindustrial. Mientras que para el 2005 el índice se encuentra entre -0.33 y -1 en -0.6618, por lo que existe desventaja para el país y se trata de un sector importador y carente de competitividad frente al mercado externo, tal y como se muestra en el Cuadro 36.

Cuadro 36. Índice Grado de Apertura de Bela del total de flujo comercial.

		2003	2004	2005
Importaciones en pesos deflactados	-- MUNDO --	10427139,4	7330706,24	8466179,69
Exportaciones en pesos deflactados	-- MUNDO --	5793421,7	4267920,05	1722954,33
Índice Grado de Apertura de Bela (bcr)		-0,28566938	-0,26406456	-0,66180554

Fuente: Elaboración directa.

En el Cuadro 37 se observa que para todo el periodo 2003-2005 los índices se encuentran entre -0.33 y -1 por lo que existe desventaja para el país y se trata de un sector importador y carente de competitividad frente al mercado estadounidense.

Cuadro 37. Índice Grado de Apertura de Bela del flujo comercial con EUA.

	País	2003	2004	2005
Importaciones en pesos deflactados	EUA	8746709,25	6133309,47	7128842,36
Exportaciones en pesos deflactados	EUA	744880,27	480316,81	560983,42
Índice Grado de Apertura de Bela (bcr)		-0,8430	-0,8547	-0,8541

Fuente: Elaboración directa.

En el cuadro 38 se observa que sólo se dieron intercambios mutuos en el 2004 de lo que se desprende que el índice le da ventaja competitiva a México, ya que para este binomio (México-Japón), las exportaciones mexicanas están en relación de 29 a 1 comparadas con lo importado por Japón.

Cuadro38. Índice Grado de Apertura de Bela del flujo comercial con Japón.

	País	2003	2004	2005
Importaciones en pesos deflactados	JAPÓN		5288,38	
Exportaciones en pesos deflactados	JAPÓN		154330,22	
Índice Grado de Apertura de Bela (bcr)				0.9337

Fuente: Elaboración directa.

Análisis de resultados para Índices de comercio y apertura

En general, el índice de comercio intraindustrial durante el periodo 2003 a 2005 fue de 0,62 lo que lo acerca más a uno que ha cero y esto nos indica que en general hay una igualdad entre las exportaciones e importaciones, la proporción fue de 22 importaciones a 9 exportaciones o muy próximo de dos a uno.

Para los años 2003 y 2004, el b_i que es de 0,7143 y 0,7359 nos da indicios de que el comercio dentro de la misma industria es intraindustrial como consecuencia de una igualdad entre las exportaciones e importaciones.

Por otro lado, para el año 2005 el comercio es más bien interindustrial o bien de bajo volumen de comercio exterior. En el caso particular del 2005 se encontró

que las importaciones fueron en una proporción de 5 a 1 con respecto de las exportaciones.

En el caso de las relaciones comerciales en torno al carbón activado que mantiene México con EUA, se puede concluir que México es importador neto de carbón activado proveniente de EUA ya que sus b_i fueron 0.1570, 0.1453, 0.1459. Lo cual se explica con el análisis de los flujos de comercio que son unidireccionales en estos tres años, ya que las importaciones fueron en una proporción de 100 a 9 con respecto de las exportaciones en el 2003, para el año 2004 la proporción fue de 100 a 8 con respecto de las exportaciones y para el 2005 la proporción se mantuvo en 100 a 8 de las importaciones con respecto de las exportaciones.

El índice b_i también se aplicó para Japón que en el año 2004 dio lugar al intercambio comercial (exportaciones e importaciones) entre ambos países (Japón-México), resultando un índice demasiado bajo casi de cero, lo que indica que las relaciones son prácticamente unidireccionales; en este caso dominan las exportaciones que México le realiza a Japón por lo que el comercio de carbón activado es interindustrial o de bajo volumen. Las exportaciones para el año 2004 fueron en la proporción de 29 a 1 con respecto de las importaciones japonesas de carbón activado.

Posteriormente del análisis realizado del Índice Grado de Apertura (gp) se desprende que:

Comparando los flujos de exportación e importación que realizó México con el mundo contra el Producto Interno Bruto Total del país, se observa que estos representan sólo el 0.00099% de éste, para el año 2003, que es cuando se dio mayor intercambio comercial de carbón activado. Posteriormente, los índices bajan al 0.00068% y 0.00058% lo que indica que en términos relativos el crecimiento económico disminuyó en los dos últimos años, ya que la actividad comercial internacional también disminuyó de \$16, 220,561.07 (Dieciséis millones doscientos veinte mil quinientos sesenta y un pesos con siete centavos) en el 2003 a \$11,598,626.29 (Once millones quinientos noventa y ocho mil seiscientos veintiséis pesos con treinta centavos) y \$10,189,134.02 (diez millones ciento ochenta y nueve mil ciento treinta y cuatro pesos con dos centavos). Posteriormente, la suma de las exportaciones más las importaciones totales entre México y el mundo se compararon con el Producto Interno Bruto de la Industria Manufacturera que es al sector al que pertenece el carbón activado, más específicamente se encuentra en la Industria Química y dentro de ella en la partida Especialidades Químicas. Los resultados de comparar los flujos de exportación e importación que realizó México con el mundo contra el Producto Interno Bruto de la Industria Manufacturera del país, indican que representa el 0.0054% de éste para el año 2003, posteriormente los índices bajan al 0.0037% y 0.0031%, estos porcentajes son importantes ya que de

todos los sectores que componen al PIB total el sector de la manufactura es el más grande entre ellos.

Por ultimo se comparó la suma de exportaciones e importaciones contra el PIB Agropecuario, Silvicultura y Pesca, ya que se considera que el carbón activado en casi su totalidad proviene de materiales de origen forestal y residuos agrícolas.

Como se puede observar, el índice mejora notablemente y representó en el 2003 un porcentaje de 0.02% de este sector y posteriormente de 0.012% y 0.010% para el 2004 y 2005, respectivamente.

También se realizó el análisis del Índice Grado de Apertura de Bela (bcr) a nivel mundial y a nivel países, de los cuales sólo se analizan a EUA y Japón, ya que son estos los únicos que en algún momento del periodo 2003 a 2005, mantuvieron tanto exportaciones como importaciones. Los demás países, antes citados, son netamente importadores o netamente exportadores por lo que el índice para ellos no funciona o darán como resultado valores de 1 ó -1, respectivamente.

Del análisis del Índice Grado de Apertura de Bela (bcr) se obtuvo que para los años 2003 y 2004 los índices se encuentran entre -0.33 y +0.33 por lo que significa que existe tendencia hacia un comercio intraindustrial. Para el 2005 el índice se encuentra entre -0.33 y -1 por lo que existe desventaja para el país y

se trata de un sector importador y carente de competitividad frente al mercado externo.

Derivado de ese mismo análisis aplicado al intercambio comercial entre México y EUA se determinó que en todo el periodo 2003-2005 los índices se encuentran entre -0.33 y -1, por lo que existe desventaja para el país y se trata de un sector importador y carente de competitividad frente al mercado estadounidense.

El mismo análisis fue aplicado al intercambio entre México y Japón al año 2004 de lo que se desprende que el índice le da ventaja competitiva a México, ya que para este binomio (México-Japón), las exportaciones mexicanas están en relación de 29 a 1 comparadas con lo importado por Japón.

Saldos

Por último se realizaron los análisis de los saldos de la balanza comercial del periodo comprendido entre 2003 al 2005 a nivel mundial y a nivel países, de los cuales sólo se analizan a EUA y Japón. Los valores están en pesos mexicanos deflactados con año base 2002..

En el Cuadro 39 se observa que para México el saldo total fue favorable en los años 2003 y 2004, no así en el 2005 en donde sufrió un déficit y la balanza queda negativa con -\$174,458.97 (menos ciento setenta y cuatro mil cuatrocientos cincuenta y ocho pesos con noventa y siete centavos).

Cuadro 39. Saldos entre la balanza comercial de carbón activado entre México y el mundo.

Total mundial	2003	2004	2005
Importación	30919,94	49910,39	233299,71
Exportación	231405,21	625119,71	58840,74
Saldo	200485,26	575209,32	-174458,97

Fuente: Elaboración directa.

Sin embargo como resultado del intercambio comercial de carbón activado entre México y EUA se tiene un saldo que resulta negativo para México en los tres años, y en total suma -\$20, 222,680.55 (menos veinte millones doscientos veinte dos mil seiscientos ochenta pesos con cincuenta y cinco centavos), lo que es una desventaja (Cuadro 40).

Cuadro 40. Saldos entre la balanza comercial de carbón activado entre México y EUA.

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	2003	2004	2005
Importación	8746709,25	6133309,47	7128842,36
Exportación	744880,27	480316,81	560983,42
Saldo	-8001828,97	-5652992,65	-6567858,93

Fuente: Elaboración directa.

Por ultimo, la balanza comercial de carbón activado entre México y Japón resultó negativa para México en el 2003 con -\$1, 067,881.45 (menos un millón sesenta y siete mil ochocientos ochenta y un pesos con cuarenta y cinco

centavos) y positiva en el 2004 pero en general durante el periodo resulta negativa con -\$918,839.61 (menos novecientos dieciocho mil ochocientos treinta y nueve pesos con sesenta y un centavos) (Cuadro 41).

Cuadro 41. Saldos entre la balanza comercial de carbón activado entre México y Japón.

JAPÓN	2003	2004	2005
Importación	1067881,45	5288,38	0
Exportación	0	154330,22	0
Saldo	-1067881,45	149041,84	0

Fuente: Elaboración directa.

Análisis de resultados de los saldos de comercio

Para México el saldo total fue favorable en los años 2003 y 2004, no así en el 2005 cuando sufrió un déficit y la balanza tuvo un saldo negativo de -\$174,458.97 (menos ciento setenta y cuatro mil cuatrocientos cincuenta y ocho pesos con noventa y siete centavos).

Sin embargo, como resultado del intercambio comercial de carbón activado entre México y EUA el saldo resulta negativo para México, en los tres años, y en total suma -\$20, 222,680.55 (menos veinte millones doscientos veinte dos mil seiscientos ochenta pesos con cincuenta y cinco centavos), lo que representa una desventaja.

Por ultimo, la balanza comercial de carbón activado entre México y Japón resulta negativa para México en el 2003 con -\$1, 067,881.45 (menos un millón sesenta y siete mil ochocientos ochenta y un pesos con cuarenta y cinco centavos) y positiva en el 2004 pero en general durante el periodo resulta negativa con -\$918,839.61 (menos novecientos dieciocho mil ochocientos treinta y nueve pesos con sesenta y un centavos). Para el resto de los países o son netamente exportadores o netamente importadores.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Las tasas de crecimiento medio anual de exportaciones en su totalidad son negativas, la menor fue de Guatemala.

El país a quien México vendió porcentual y en promedio más carbón activado durante el periodo de estudio fue Chile.

Las tasas de crecimiento medio anual de importaciones de los diez países más importantes, cinco de ellos muestran tcma negativas y el resto positivas.

En general, las tasas de crecimiento medio anual de las importaciones son negativas.

El país que registró la mayor tcma positiva fue Filipinas con una mínima participación de las importaciones mexicanas.

El país que más carbón activado vendió a México en términos porcentuales y en promedio fue EUA.

En general de acuerdo con el índice "bi" hay una igualdad entre las exportaciones e importaciones, la proporción fue muy próxima de 2 a 1.

El comercio derivado de las exportaciones e importaciones mexicanas de carbón activado es intraindustrial.

La participación del carbón activado en el PIB nacional según el Índice Grado de Apertura (gp) es ínfima, lo mismo sucede con el PIB de la industria manufacturera.

De acuerdo con el Índice Grado de Apertura de Bela, la industria mexicana de carbón activado en general presenta no es competitivo tendiente a un comercio intraindustrial.

De todos los países con los que México realizó transacciones en el periodo sólo EUA y Japón mantuvieron en algún momento intercambio mutuo.

Para México el saldo total fue favorable en los años 2003 y 2004, no así en el 2005 en donde sufrió un déficit.

6.2 Recomendaciones

Los resultados de la investigación permiten generar las siguientes recomendaciones:

México debe buscar recuperar las exportaciones que realizó sobre todo a países como Chile, Cuba y Argentina.

Para lograr lo anterior es necesario fortalecer la industria productora de carbón activado nacional con políticas que permitan establecer plantas de producción de carbón activado en zonas donde la materia prima es abundante, como lo es el caso de las zonas coqueras del país, en donde existen problemas en la venta de la copra, con lo cual, se estaría combatiendo dos problemas, el primero darle valor agregado a un subproducto que en la actualidad se ocupa en forma mínima y el segundo satisfacer la demanda de carbón activado que se compensa mediante importaciones.

Las políticas de apoyo y fortalecimiento de la industria productora de carbón activado antes mencionada puede ser vía subsidios o también en financiamiento a PYMES que aprovechen materiales locales escasos los cuales permitan producir carbones activados especiales y que con poco volumen generen atractivos ingresos.

Además, ya que se tienen importaciones promedio anuales de poco menos de ocho millones y medio o lo que es equivalente hay un mercado insatisfecho por esa misma cantidad, se debe realizar investigación en el desarrollo de equipos que permitan a pequeños productores adquirirlos y solventar el déficit existente. Procurando mantener las importaciones que permitan aprovechar los subsidios de otros países pero vigilantes de mantener en la vanguardia tecnológica y productiva a los inversionistas nacionales de carbón activado, con lo cual se evitaría la dependencia de un producto estratégico.

Esta información se debe tomar con sus reservas ya que las tcma de importaciones y exportaciones actualmente en ambos casos son negativas.

Aún cuando los flujos comerciales comparados contra los diversos PIB representan un porcentaje mínimo debido a la diversidad de usos, y su importancia en la economía nacional, como lo es la industria azucarera, la industria de la purificación de agua potable o incluso en la catálisis para el petróleo, de importancia en la salud debido a que dentro de sus usos está el salvar personas de intoxicaciones con sustancias peligrosas que ninguna otra

sustancia puede lograr. Es necesario continuar realizando estudios de carbón activado especializados que generen más ingresos para el país con pocos volúmenes de materia prima, como es el caso de carbones impregnados de plata y otros que solo las materias primas locales pueden generar.

7. LITERATURA CITADA

- AWWA Research Foundation, 1992. Microbial activity on filter-adsorber., Ed. American Water Works Asociation. USA.
- Béjar, U. A.; I. Espitia C.; A. Alfonso A. y J. Cruz de L. (2003). Obtención de carbón activado vegetal a partir de aserrín de pino y encino. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Biscoe, J. y Warren, B. E. 1942. Applied Physical. Ed. IngTech. England.
- Bossio, R. 2005. Fábrica de carbón activado con cáscaras de maní. Argentina. <http://www.grupocaissa.com.ar/noticia-266.html>, (20 de mayo de 2005).
- Brasilac, 2005. Carbón Activado Polvo Delta V. <Http://www.Brasilac.Com.Br/Deltave.Html>. (10 de enero de 2005)
- Bravo, H. 2005. Tratamientos para pieles muy grasas, seborreicas con acné <http://www.drumbertobravo.com.ar/carbonactivado.htm> (1 de enero de 2006).
- Budavari, S. 1996. The Merck Index, 12^a. Ed., Merck & Co., Inc., N.Jersey. USA.
- Burrage, L.J. 1933.Active Carbon. Ed Trans Faraday Society. England.
- Cebrián, R. J.; Díaz R. A.; Coma D. M.; Bello G. 2006. Principios de urgencias, emergencias y cuidados críticos. <http://tratado.uninet.edu/c100104.html>. (16 de enero de 2006)
- Cheremisinoff, P. N. 1978. Carbon Adsorption Hand Book. Edited by Ann Arbor Science, Michigan U.S.A.

- CI71M, 2003. Universidad de Chile. Procesos de tratamiento vapores y emisiones gaseosas
<http://www.cipres.cec.uchile.cl/~ci71m/txt/Apuntes/Emisiones.PDF#search='carbon%20activado%20de%20madera'> (3 de enero de 2005)
- Clarimex, 2005. Productos y ventas. Usos y productos del carbón activado.
<http://www.clarimex.com/productos.htm>. (16 de enero de 2006)
- Clark, R. y Lykins Jr., B.: 1991. Granular activated carbon design operation and cost, Lewis Publishers, Michigan. USA.
- CONACYT, 2005, ¿Sabías que el refresco que tomas usa carbón activado para su elaboración?, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México
<http://www.conacyt.gob.mx>. (16 de enero de 2005)
- Contreras, L. J. L. 1988. Obtención del Carbón Activado. Reporte Interno de Investigación del Área de Procesos y Medio Ambiente de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Atzacapozalco. México., D.F.
- Cordero, L. L. E. 1979."Carbón activado elaborado a partir de hueso de Dátil", Tesis de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, Zacatecas. México.
- Coss, M. N. 2000. Análisis de la balanza comercial de la manzana en el contexto de un mercado abierto. 1990-1999. División de Ciencias Económico Administrativas. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Cunha, D. K. M. 2002. Uso de cloruros de cobre en la preparación de carbón activado de casaca de coco. Universidad de Guadalajara, Jalisco, México.

- Dacey, J.R.; 1967. The Solid-Gas Interface. Vol. 2.. Ed. E.A. Flood, Arnold, Nueva York, USA.
- De la Rosa, M., J. R. 2001. Relación entre apertura y crecimiento económico en México. Banco Mexicano de Comercio Exterior. México. DF.
- De Zuane, J. 1997. Handbook of Water Quality, 2ª. Ed. Wiley, N.Y. USA.
- Dow, W.H. 1958. Oil gas. Marcel Dekker, New York, USA.
- Drpez, 2005. El Carbón Activado Granular. <http://www.drpez.com/drcol51.htm>. (16 de noviembre de 2006)
- Dubinín, M. M. 1966. "Chemistry and Physics of Carbons" P.L. Walker Jr. Ed. Marcel Dekker, Nueva York. USA.
- Dubinín, M.M. and Cumutov, K.; 1936. "Physico-Chemical Fundamentals of Antigas Protection". Voy. Akad. Khim. Zash., Moscu.
- Dubinín, M.M. y Zaverina. N. 1939. Physico-Chemical., Ed.; Zhur. Moscu.
- Fernández, A.; A. Cádiz.; R. Castillo.; L. Joó.; N. González.; J. Inocencio.; 2001. Obtención y aplicación de carbón activado en la purificación de productos biológicos. Tecnomat. Cuba.
- Fernández, U. E. 2002. Guía orientativa del lavado gástrico. Inédito. Cuba.
- Foros, 2005. <http://www.foros.gob.mx/read.php?f=23&i=51&t=51>. (16 de enero de 2005)

García, I.; C. R. Castillo.; A. Fernández y R. Aja. 2001. Diseño, construcción y puesta en marcha de una planta para la producción de carbón activado. Tecnomat. Cuba

Gómez, S. V. 1982. Carbón activado a partir de madera de olivo. Tesis doctoral. Universidad de Granada. España.

Groso, C. G. 1997. El carbón activado granular en el tratamiento del agua, Aconcagua Ediciones y Publicaciones. Guadalajara, Jalisco. México.

Gutiérrez, B. J. y M. Rubio A. 1985. Elaboración de carbón activado a partir de cáscara de coco y otras nueces. Tesis Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. D.F.

Hassler, J. W. 1951. Active carbon. Ed. Chemical Publishing Co. Inc. Brooklyn, N.Y. USA.

Hassler, J. W, 1963. "Activated carbon". Chemical Publishing, Nueva York. USA.

Herout, T.V. 1950. Activated carbon. Ed Czech. Checoslovaquia.

Herrera, B. J. F., Y. Morales. W. y D. Pérez S. 2004. Selección de un método para producir carbón activado utilizando cuatro especies forestales. Facultad de Minas y Carbones y Facultad de Productos Forestales, de la Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

Hofmann, U. 1943. Wien Chemical. Ed. Ztg. England.

- INEGI, 1999. XV Censo Industrial, Censos económicos 1999, Industrias Manufactureras sub sector 31, Producción de alimentos bebidas y tabaco. Productos y materias primas. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. D.F.
- Ingle, L. 2003. Los polifenoles. Laboratorios Norit Americas Inc., Marshall, Texas, U.S.A <http://www.chirca.com/arch/calidad/carbon.htm>. (16 de noviembre de 2006)
- Islas, G. J.; J. L Jolalpa B.; B. Saavedra L.; F. Compeán, G. y M. Martínez S. 2005. Análisis de la balanza comercial forestal de México 1990-2003.INIFAP. Inédito.
- Javier, H. J. 1998. ¡Ahí Viene el Coco! El millonario negocio detrás de la cáscara de coco. <http://www.soyentrepreneur.com/pagina.hts?N=9104>. (1 de enero de 2005)
- Jimaja, S.A de C.V. (2003). Consumibles y Refacciones. <http://www.jimaja.com.mx/productos.htm> (16 de Noviembre de 2006)
- Juntgen, 1977. Carbon. Ed. Marcel Dekker. New York. USA.
- Kenneth, S. 2005. Propiedades de los carbones activados. Revista Agua Latinoamericana. Volumen 6, Numero 4, Página 16-25. <http://www.agualatinoamerica.com> (16 de noviembre de 2006)
- Kifiba, 2005. Diferencias Técnicas entre tipos de carbón activado. http://www.kifiba.com/htms/productos/carbon_activado/tipos/. (1 de enero de 2005)
- Kirck, A. and Othmer, K. 1993. Enciclopedia de la Tecnología Química Tomo III 4ª edición. Editorial John Wiley e Hijos. Madrid, España.

- Krill, H. y Wirth, H. 1974. Chemical Technology. Ed. Techn. England.
- Laine, J. 1998. La caña de azúcar y la palma de coco: fuentes de investigación y desarrollo para el mejoramiento ambiental. Interciencia, Caracas, Venezuela.
- Laine, J. and Yunes S. 1992. Effect of the preparation method on the pore size distribution of activated carbon from coconut shell. Interciencia, Caracas, Venezuela.
- Ledesma, D. y Mungaray, A.. 2000. El TLCAN en el comercio intraindustrial textil de México con Estados Unidos. Banco de Comercio Exterior. México. D.F.
- Levin, F. 1993. Estudio de factibilidad para la elaboración de coco rallado y carbón activado. San José, Costa Rica.
<http://www.laopinion.com.mx/agronegocios/portada1.shtml>. (1 de enero de 2005).
- León, G. P. A. y Dussel, P. 2001. El comercio Intraindustrial en México, 1990-1999. Banco de comercio exterior. México, D.F.
- Martín, M. J. M. 1990. Adsorción física de gases y vapores por carbones, grafito y carbones. Universidad de Alicante, España.
- Martínez, V. F. (1980). 20 La aceituna. Tesis doctoral. Universidad de Granada. España.
- Mattson, J.S. y Mark Jr., H.B. 1971. "Activated Carbon". Marcel Dekker, Nueva York. USA:
- Millet, J. 1965. "Les carbones". Vol. 1. Masson, Paris. Francia.

Moreno, L. A. 2006. Carbón activado. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. Inédito.

Nalco, 1989. Manual del agua, Tomo III, Mc Graw Hill, México, D.F.

Newater, 2005, Filtración y sistemas de tratamiento del agua, <http://www.filtrar.net/preguntas/problemasaguac.htm> (1 de enero de 2006).

Norit SA de CV, 2005. Servicios y productos. <http://www.norit.com/p3.php?RubriekID=2622> (16 noviembre de 2006)

Ochoa, R. 2005. Mejoras tecnológicas en la única planta de carbón activado. <http://www.granma.cubaweb.cu/2005/02/15/nacional/articulo06.html> (15 de febrero de 2005)

Ostrejko, R. V; 1900. Patentes británicas. England.

Pierce, C. y Smith, R.N.; 1953. Physical. Ed. Czech. Checoslovaquia.

Piola, N J. C. 2005. Material Educativo Uso del Carbón Activado, El carbón activado es el antídoto más utilizado en las salas de urgencias de todo el mundo, para resolver cuadros de intoxicación aguda. <http://www.carbotecnia.info/farmaceutico.htm>. (16 de enero de 2006)

Piola, N. J.C. 2004. Carbón activado y Sorbitol http://www.sertox.com.ar/es/info/folletos_preencion/2000/01_carbon.htm#ca. (16 de enero de 2006).

Plachinov, T.G. 1937. Active carbon. Ed. Zhur. Rusia.

- Rey, M. 2001. Estudio de la Purificación y Secado del carbón activado en polvo de producción nacional. Tecnomat. Cuba.
- Robau, S. A. 2004 a. Datos de mercado. Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). Chihuahua, México. Inédito.
- Robau, S. A. 2004 b. Estudio de pre-factibilidad para el establecimiento de una planta para producir carbón activado vegetal en Chihuahua. Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados. Chihuahua, México. Inédito.
- Roskill, 2005. Roskill metals and minerals reports <http://www.roskill.com/> (16 de noviembre de 2006)
- Sagan-gea. 2005. Tratamiento de aguas.
http://www.sagangea.org/hojared_AGUA/paginas/25agua.html. (1 de enero de 2005)
- Smisek, M. and Slavos, C. 1990. Active Carbon, manufacture, properties and applications. Edited by Elsevier, Amsterdam, Holland.
- Smisek, M. y Cerny, S. 1970; "Active Carbon". Elsevier, Amsterdam, Holland.
- Smith, T.D. 1952. Active carbon. Journal Chemistry. Society of chemistry. USA.
- Tolbert, N.E. y Amerine, M.A. 1943. Carbon active. Industry Eng. Chemistry. USA.
- Tomas, T.L. y Mays, R.L. 1961. "Physical Methods in Chemical Analysis". Vol. 4. Academic Press, Nueva York. USA.
- Walker Jr., P.L.; Rusinko Jr., F. y Austin, L.G. 1959. "Advances in Catalysis". Ed. Academic Press. Nueva York, USA.

Wigmans, T. 1986. "Carbon and Coal Gasification". Eds. J.K. Figueiredo y J.A. Moulijn
Martins. Dordrecht, Holanda.

Wikipedia, 2006. Concepto de balanza comercial.

http://es.wikipedia.org/wiki/Balanza_comercial" (1 de noviembre de 2006)

Yamada, D. 1959. Bulletin of Faculty Engineer. Yokohana National University. Japan.