

EL CARBÓN Y SU PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

por

José M. Rincón*

Resumen

Rincón, J. M.: El carbón y su problemática ambiental. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **26**(99): 271-278. ISSN 0370-3908.

Se hace una revisión de los principales usos del carbón, su mecanismo de transformación a coque y productos líquidos. Se comenta como el carbón es fuente de combustibles libres de azufre y nitrógeno, y para combustibles de celdas de combustión como hidrógeno y metanol. Es además materia prima para la obtención de carbón activado, material indispensable en el tratamiento de aguas y para la obtención de materia orgánica utilizada en el mejoramiento de suelos, reducción del uso de fertilizantes inorgánicos e incremento de las cosechas agrícolas en la agricultura orgánica.

Palabras clave: Carbón, combustible, medio ambiente.

Abstract

Coal is raw material for metallurgical coke and synthetic liquid fuels free of sulfur and nitrogen. It is also source of hydrogen and methanol for the fuel cells. The activated carbon obtained from coal is used for environment cleaning. Coal is also raw material for humus production to improve soil structure, increase harvest yield and reduce inorganic fertilizers.

Key words: Coal, fuel, environment.

Cuando en 1959, vine por primera vez a Bogotá a realizar la inscripción en la universidad, tuve oportunidad de conocer el carbón mineral y su manejo en las estufas domésticas de aquel entonces, dos hechos me llamaron especial atención, el uno sobre el calor irradiado alrededor de la estufa, que lo hacía el sitio ideal, para una persona de tierra caliente como yo, y, el segundo, la caída del hollín en el patio.

Desde esa época he tenido interés por el problema energético, en especial el del carbón; ya en mi época de estudio de pregrado compraba libros sobre la materia y en 1969 hice mi primera visita al museo del carbón en Londres.

En los años setenta, después de la guerra de Jom Kippur, vino la escalada de precios del petróleo en el mundo que coincidió con la crisis energética de Colombia. Era obvio

* Miembro de Número Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

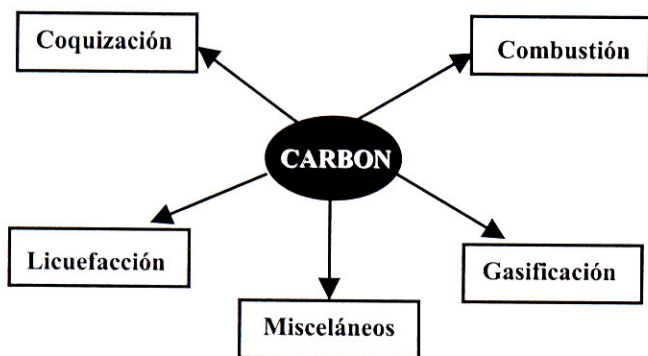
entonces, que el carbón podía ser una solución a la balanza energética del país, ya que las reservas son enormes y existen en todas las regiones¹⁻².

Con este principio, inicié el grupo de investigación y más tarde fundamos el Laboratorio de Investigación en Combustibles (LIC), de la Universidad Nacional y gracias a la búsqueda permanente de financiación, logramos conseguir ayuda económica, a través del programa ICFES-BID y así creamos las bases para la construcción del edificio anexo al Departamento de Química, donde actualmente funciona el LIC. Por lo anterior, esta presentación se hará teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante mi experiencia de trabajo en dicho laboratorio. Haré primero una descripción de los principales usos y perspectivas del carbón y posteriormente la discusión de la problemática ambiental.

1. Principales usos del carbón

El carbón está asociado al desarrollo industrial de la humanidad. Fue la fuente de energía más importante del Siglo XIX y la primera mitad del siglo XX, y, es la esperanza energética del presente. Veamos algunos avances realizados en cada uno de los procesos básicos de utilización del carbón.

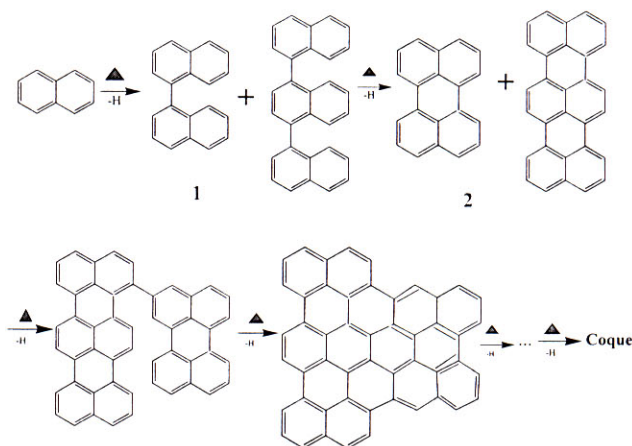
USO DEL CARBÓN



1.1 Coquización

El coque es un sólido carbonoso de alta resistencia química y mecánica propiedades que lo hacen único para la obtención de hierro en el alto horno. La obtención de coque a partir de los llamados carbones coquizables, se hace desde hace varios siglos. El problema se inicia cuando estos carbones empiezan a ser escasos y se debe recurrir a mezclas con carbones más abundantes utilizando aditivos para mejorar la calidad, aquí la investigación es la ayuda para mejorar y/o orientar el desarrollo de nuevos procesos.

Los carbones coquizables poseen en su estructura racimos aromáticos de 3-5 anillos³ que generan durante el calentamiento una fase plástica a la temperatura de rompimiento de los enlaces sigma, 350-450 °C. Este rompimiento es, en la mayoría de los casos homolítico⁴ y a estas condiciones se generan radicales libres que, por estar dentro de una matriz policondensada, son parcialmente estables, se localizan en el racimo aromático y dan origen a repolimerización, la cual es relativamente organizada y de aquí a la llamada mesofase que posee una organización anisotrópica laminar y semicristalina⁴⁻⁶, la cual es responsable de la alta resistencia mecánica y química del coque.



Mecanismo de crecimiento aromático inducido térmicamente

Del anterior mecanismo de crecimiento cristalino se concluye que los carbones o aditivos de mezcla deben ser aromáticos o formar estructuras aromáticas a las temperaturas de reacción 350-450 °C. Por esto, en el laboratorio, se trabajó en el desarrollo de aditivos tal como: breas de carbón, fondos de refinería o bitúmenes naturales⁷⁻¹⁰ que nos han permitido agregar hasta 20% de carbones de menor calidad, en cuanto a la coquización, convirtiendo carbones tipo Cerrejón eminentemente térmicos, en carbones de mezcla para coquización¹¹⁻¹³.

1.2 Licuefacción

Si la coquización es una polimerización, en la licuefacción lo que buscamos es una depolimerización y obtener compuestos más livianos. Entonces, en este proceso, nos podemos imaginar que el apagado de los radicales libres formados durante la termólisis, a cambio de hacerlo entre fragmentos grandes, lo hacemos con hidrógeno¹⁴. La obtención del hidrógeno radical ha sido hasta ahora un arte y empieza a ser una ciencia. Un hidrógeno radical

se puede obtener a partir de compuestos que lo generen justo a la misma temperatura que la de la especie de carbón, o mediante deslocalización de la molécula de hidrógeno con ayuda de un catalizador.

En este aspecto, desarrollamos el apagado de estos radicales a través de transferencia de hidrógeno proveniente de compuestos que nos sirven de almacenamiento de hidrógeno y que luego lo entregan justo en el momento de formación de la especie radical del carbón¹⁴. Un ejemplo del mecanismo se ilustra cuando se trabaja con compuestos ricos en hidrógeno tipo crudos nafténicos como el crudo pesado de Castilla que al pirolizarse generan hidrógeno y reaccionan con el compuesto almacén, del tipo antraceno, para obtener un 9-10 dihidroantraceno el cual entrega de nuevo el hidrógeno a la especie radical del carbón cuando ocurre el rompimiento de su molécula¹⁵⁻¹⁶.

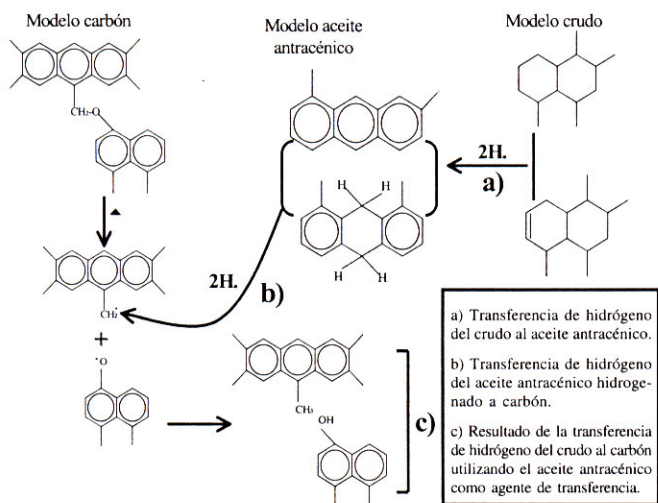


Diagrama de interacción de carbón y aditivos durante la pirólisis

Puesto que estas reacciones se realizan en estado sólido, donde existe poca movilidad de las especies moleculares, hicimos un prehinchamiento con solvente de la estructura macromolecular del carbón, permitiendo en esta forma, mayor facilidad para el contacto de las especies reactantes y disminuyendo como consecuencia, las dificultades de transferencia de masa. Así obtuvimos incrementos hasta de un 15% con respecto al sistema convencional¹⁷⁻¹⁹. Estos nuevos conceptos totalmente comprobados en otros laboratorios nos permitieron aumentar los rendimientos en la primera etapa de depolimerización y bajar la temperatura de 420 °C a 380 °C.

1.3 Gasificación

Las reacciones de gasificación del carbón son la base de muchos procesos industriales tales como la combustión del carbón y la producción de gas de síntesis, gases combustibles y carbón activado²⁰⁻²¹. Ellas también están presentes en los procesos metalúrgicos y en la regeneración de carbón de los catalizadores.

La gasificación de carbón con vapor de agua es la reacción básica más importante y busca producir monóxido de carbono e hidrógeno, el llamado gas de síntesis.



Existen además reacciones laterales como las del monóxido con vapor para obtener más hidrógeno o reacción de desplazamiento. Con esta última reacción se maneja cualquier proporción de monóxido o de hidrógeno.



O, para obtener mayor cantidad de monóxido



también se produce la reacción de metanación del carbono y del monóxido con hidrógeno.



El gas de síntesis, (CO, H₂) constituye el ladrillo fundamental de la química y en mi concepto será la base de las nuevas plantas carboquímicas. A partir del gas de síntesis obtenemos hidrógeno y metanol, combustibles de las celdas de combustión, también se obtienen productos químicos aromáticos, gasolinas de alto octanaje, productos químicos parafínicos o aceite diesel de alto número de cetano, combustibles sintéticos sin nitrógeno ni azufre. Prácticamente cualquier producto que hoy producimos de la petroquímica se puede obtener a partir del gas de síntesis.

En este campo, nuestros trabajos en este campo estuvieron enfocados en la búsqueda de conocimientos básicos sobre los parámetros cinéticos de las reacciones de gasificación de las reacciones sin y con catalizadores³⁴⁻³⁶.

1.4 Combustión

La combustión es quizá la primera reacción química que conoció la humanidad. Sin temor a equivocarme todos los seres humanos la utilizamos diariamente. Sin embargo, químicamente esta reacción no es simple y su

manejo requiere de la ayuda de expertos. En una forma simplista una molécula de oxígeno oxida carbón o hidrógeno para producir bióxido de carbono, agua y energía.

La combustión de carbón mineral es una de las reacciones más complejas y difícil de manejar desde el punto de vista físico y químico. Inicialmente, los compuestos volátiles producidos por la pirólisis crean una atmósfera rica en hidrocarburos de bajo peso molecular que al oxidarse producen alrededor del sólido carbonizado una atmósfera pobre en oxígeno; y en una segunda etapa, cuando se consumen los volátiles, este carbonizado reacciona con el oxígeno gaseoso. La velocidad de reacción desde el punto de vista químico es supremamente rápida, pero la etapa determinante está regulada por el control físico de la reacción con el carbonizado y si no existe suficiente temperatura y turbulencia para permitir el contacto entre los reactantes, la reacción puede terminarse o lo que en términos comunes llamamos apagarse. El desconocimiento del manejo adecuado de esta reacción, que consume cerca del 90% del carbón extraído en el mundo, es lo que ha originado la mala fama de este recurso desde el punto de vista ambiental. Un ejemplo fue nuestro trabajo con la térmica de Zipaquirá que permitió mejorar la calidad de las cenizas, aumentar la eficiencia de la térmica y disminuir los problemas ambientales de la planta²⁵⁻³⁰.

2. La problemática ambiental

Hemos visto que el carbón mineral puede ser utilizado en diferentes procesos los cuales son solución a nuestros problemas energéticos del futuro. Sin embargo, hay un mal ambiente en cuanto a su utilización e inclusive, algunos de nuestros políticos proponen venderlo antes de que su valor sea despreciable y surjan nuevas tecnologías que lo reemplacen. ¿Qué tan cierto puede ser esto?

Los problemas ambientales causados por el mal uso del carbón no son nuevos y han sido objeto de numerosas discusiones y reclamos. A continuación, presento un resumen histórico de los problemas ambientales causados por la combustión del carbón³¹.

En 1272 el rey Eduardo I de Inglaterra prohibió el uso del "Carbón Marítimo" en Londres con el fin de despejar los cielos del humo. El parlamento británico ordenó torturar y ahorcar a un hombre que vendía y consumía dicho carbón. Durante el reinado de Ricardo II y Enrique V se tomaron medidas en Inglaterra para reglamentar y restringir el uso del carbón. Una de las primeras publicaciones que trata de la contaminación del aire fue escrita en 1661 por John Evelyn, miembro fundador de la Royal Society por orden del rey Carlos II. En diciembre de 1930, una

región altamente industrializada del valle de Neus (Bélgica), se cubrió durante tres días de una espesa niebla por lo que cientos de personas enfermaron y 60 murieron. Poco después una espesa niebla cubrió el área de Manchester y Salford en Inglaterra durante nueve días en Enero de 1931, murieron 592 personas.

No fue sino hasta que una capa de niebla cubrió Londres por tres días en Diciembre de 1952, cuando se hizo evidente el siniestro potencial de la contaminación del aire por la combustión del carbón, casi todos los que habían muerto tenían antecedentes clínicos de bronquitis, enfisema o trastornos cardiacos. En 1956 el Parlamento Inglés promulgó una ley de aire puro y, Gran Bretaña inició un programa, para reducir la combustión de carbón bituminoso. En Colombia, en el valle de Sogamoso y Zonas de plantas rudimentarias con la coquización es factible ver algo parecido a lo descrito con anterioridad.

Como vemos el carbón mineral es un material supremamente complejo que aún no hemos aprendido a manejar. Hoy en día, sabemos que el carbón tiene una estructura polimérica, cuya unidad de polimerización, son núcleos de anillos aromáticos que van desde 1-2 anillos para los carbones de bajo rango hasta más de 5 para los llamados de alto rango o antracíticos³, a su vez contienen azufre del 0.5-5%, Nitrógeno alrededor de 1.5% y otros elementos volátiles en menores proporciones. También contienen minerales que dan origen a las cenizas, 5-30%²⁸.

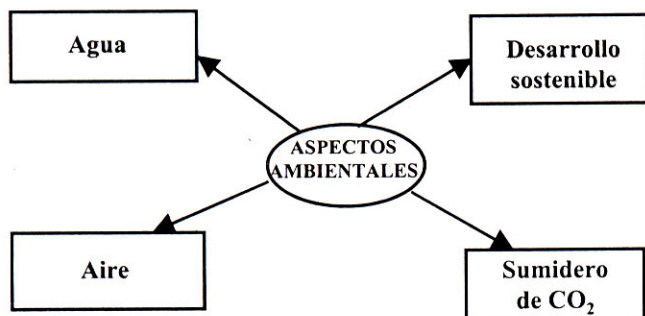
Cuando se realiza la combustión de este material, podemos asumir dos condiciones de operaciones extremas. Una, como en la estufa mencionada donde la alimentación se realiza en trozos de varios centímetros de tamaño y en porciones cada cierto tiempo. En este caso, la combustión no será completa, se forma hollín o material particulado, en grandes cantidades, y lo que es peor, se emiten sustancias tóxicas aromáticas, monóxido de carbono y grandes cantidades de vapores orgánicos causantes del smog, comentado en los casos anteriores. Los heteroátomos como el S y N generan óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno causantes de la llamada lluvia ácida y precursores de smog; además, hay una buena cantidad de cenizas volantes con alto contenido de carbón residual o carbono no quemado. La segunda condición es, cuando hacemos una combustión perfecta donde hemos tenido en cuenta todos los principios científicos y técnicos de la combustión incluidos temperatura de reacción, tamaño de partícula, turbulencia control de partículas y emisiones y, entonces, los residuos serán principalmente bióxido de carbono, agua, óxidos de azufre y de nitrógeno, y cenizas sin carbón residual. Todos los procesos industriales van a estar entre estos dos extremos y a medida que la combustión se realiza bajo control y

en procesos industriales, cada vez estaremos más cerca al segundo caso.

La investigación en los conocimientos básicos de la "ciencia del carbón" es muy activa y gracias a estos avances hemos pasado, en el caso de la combustión, del 7% de eficiencia en la estufa de tres piedras a 27% en la térmica de Zipaquirá, 42% en la térmicas modernas a presión y hasta un 56% en la planta de ciclo combinado. Es decir que, para producir la misma energía de la térmica de Zipaquirá, tendríamos que usar la mitad del carbón en una planta de ciclo combinado. De todas maneras, aún en la combustión completa, todos los residuos con excepción del agua, causan problemas de contaminación ambiental por lo cual es necesario su control permanente.

La respuesta a las inquietudes que nacen de la discusión anterior, viene del mismo carbón, es decir que el carbón es también solución al problema ambiental que ocasiona y es fuente de empleo y materia prima para nuevas usos. Haré mención de algunos casos, sacados de mi propia experiencia profesional en los cuales el carbón es la solución al problema ambiental.

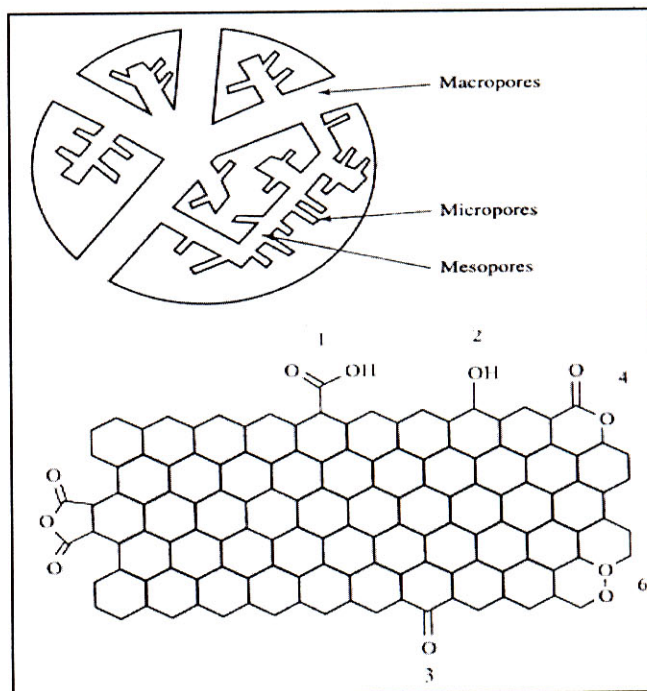
ASPECTOS AMBIENTALES



2.1. En la purificación de aguas domésticas y residuales

El agua es el solvente universal y como tal varía según el sitio y la fuente. El carbón activado, derivado del carbón mineral, contiene meso y microporos que le dan las propiedades de adsorción superficial y los grupos funcionales de los bordes le dan las propiedades de adsorción específica. Estas propiedades son indispensables para evitar los halometanos y compuestos orgánicos en las plantas de tratamiento de aguas para uso doméstico³³. Las aguas residuales urbanas contienen tensioactivos, materia orgánica, grasas, etc., donde el

carbón activado es la mejor opción de tratamiento; lo mismo podemos decir de los efluentes industriales en los cuales, para el retiro de trazas de metales pesados, compuestos aromáticos y pesticidas, el carbón activado es indispensable. En este campo nos queda mucho por hacer en investigación, en especial, buscar nuevos procesos que lo hagan más económico y poderlo llevar a todos los municipios del país



2.2. Limpieza de aire

La contaminación del aire originada por la actividad humana se debe a fuentes fijas y móviles, más del 90% es causada por la combustión de recursos fósiles. El carbón es el combustible preferido de las fuentes fijas y el responsable de las emisiones de estas; ¿quien no ha visto una chimenea expulsando cantidades de humos en plantas industriales? Su influencia ha sido tan grande que a él se debe la mayoría de los problemas estudiados. Una combustión de carbón mal realizada genera en el aire: VOCs, material particulado, gases ácidos, vapor de agua, monóxido y bióxido de carbono.

De nuevo el carbón activado es importante para atrapar los vapores orgánicos en las plantas industriales³⁴⁻³⁵ y en sectores de alta concentración humana. También en casos de derrame de productos peligrosos o en la llamada guerra química o bacteriológica.

2.3. Sumidero de bióxido de carbón

El problema del calentamiento global, causado por la combustión de recursos fósiles, no es nuevo y ya en 1896, el Químico Svante Arrhenius publicó su trabajo titulado "Influencia del ácido carbónico sobre la temperatura de la tierra" anticipándose a nuestras discusiones de hoy sobre el calentamiento causado por el bióxido de carbono y otros gases conocidos como los gases de efecto invernadero. La solución es la de confinar el bióxido de carbono y almacenarlo o su captura por medio de reacciones químicas como la fotosíntesis en los árboles o algas marinas. Otra opción es el almacenamiento en los mismos espacios dejados por el gas natural, petróleo o depósitos naturales. De todas formas, se debe hacer una purificación previa la cual involucra utilización de adsorbentes químicos como la trietanolamina. Una solución interesante es su purificación por adsorción-desorción en tamices moleculares derivados del mismo carbón mineral; en nuestro caso, estos tamices se prepararon con semiantracita de páramo de Guerrero, Cundinamarca.

Quizá la solución más elegante a este problema, es el almacenamiento de CO₂ y el incremento en la extracción de metano en las viejas y agotadas minas de carbón³⁶. El CO₂ es adsorbido por las capas de carbón que no son aprovechables para minería y desplaza al metano. Por cada dos moléculas de CO₂ inyectada se extrae aproximadamente una de metano.

Un trabajo realizado en los países bajos concluye que esta opción es económicamente realizable en el futuro cercano y que puede jugar un papel importante en la reducción de los gases de efecto invernadero por un periodo cercano a 50 años.

Las capas profundas de carbón no son accesibles a la minería convencional y el gas generado, metano, es un combustible limpio. El almacenamiento de CO₂ por esta vía puede ser preferible al almacenamiento en acuíferos salinos, campos libres de gas o en las profundidades de los océanos.

2.4. Desarrollo sostenible

El carbón es de origen vegetal producto de transformaciones bioquímicas y geoquímicas causadas por su enterramiento y almacenamiento durante millones de años.

Problema. Los suelos tropicales son pobres en materia orgánica y después de las primeras cosechas la respuesta a los cultivos industriales es muy pobre, por ejemplo, algodón en el Cesar, y por esto la práctica de agregar fertilizantes químicos que al utilizarse repetitivamente, salinizan los suelos. Una solución a este problema es la de agregar

materia orgánica capaz de facilitar el intercambio catiónico y disminuir el uso de fertilizantes químicos a través de sustancias derivadas del carbón³⁷. Los resultados de poner en práctica esta hipótesis han mostrado un aumento en las cosechas y regeneración de la capacidad agrícola de los suelos^{38,39}.

Como hemos visto, la humanidad tiene carbón mineral para rato; su utilización seguirá siendo motor de bienestar y desarrollo humano. Las nuevas tecnologías, a través de la gasificación y síntesis, permiten obtener hidrógeno y metanol, combustibles de las celdas de combustión; gasolinas y aceite diesel libres de azufre y nitrógeno como combustibles del futuro. Colombia es un país exportador de carbón y como tal tenemos la obligación de generar soluciones que permitan conservar los mercados y ser fuente para evitar los problemas ambientales. Debemos en consecuencia, para suplir nuestras necesidades y las de nuestros consumidores, incrementar la investigación básica y aplicada estableciendo un **programa de carbón limpio**, apoyar los ensayos demostrativos y estar atentos a realizar las transferencias tecnológicas.

Bibliografía

1. **Rincón J. M.** 1981. El carbón en Colombia, *Industria Química*, **3**: 18.
2. ————. 1981. Perspectivas de adecuación y creación de tecnologías carboníferas en Colombia. Instituto Italo Latino Americano. 684 p.
3. ————. 1994. Estructura Macromolecular del carbón, *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
4. ————, **H. de López, J. Calderón & J. Díaz; E.S.R.** 1984. Study of the formation of optical texture of cokes from petroleum and coal tar pitches. Ext. Abs. Int. Symp on carbon. Japan Carbon Society, 161, 1981. Shinn John H., From coal to single-stage and two stage products: a reactive model of coal structure. **63**: 1187-1196.
5. ————, **L. Pacheco & M. Díaz.** 1981. Study of the formation of cokes, from coals, Ext. Abs. Int. Symp. on carbón, Japan Carbon Society. 165 p.
6. ———— & **H. de López.** 1983. The role of trapped free radicals in the pyrolysis of coal and related compounds. *Coal Science*, International Energy Agency, Pittsburgh. 550 p.
7. ———— & **H. de López** 1983. Free radicals in pitch pyrolysis, 16th Biennial conf. on carbon, Am Carbon Society. pp. 22-23.
8. ————, **R. Carvajal & J. Díaz.** 1983. Anisotropic development in a low rank coal, 16th Biennial conf. on carbon. Am. Carbon Society. pp. 24-26.
9. ————, **R. Carvajal & L. Pacheco.** 1985. Measurement of anisotropic development in a low rank coal using petroleum heavy oil. *Fuel*. **64**: 119.

10. _____, **C. Torres & P. Sánchez**. 1987. Enhancement of anisotropic development in low rank coal using heavy oil mixture. Proceeding "XVIIth Biennial Conference on CARBON". 187 p.
11. **Pacheco L. A., S. Gaviria, P. Sánchez, H. de López & J. M. Rincón**. 1987. Influence of additives in the reactivity of cokes from low rank coals. Proceeding "XVIIth Biennial Conference on CARBON". 456p.
12. **Rincón J. M.** 1983. Algunos aspectos de la pirólisis del carbón. *Rev. Col. de Química*, **12**: 49.
13. _____, **M. Rodríguez, L. Pacheco & F. Pérez**. 1988. Mejoramiento de la reactividad de coques utilizando breas como aditivos. *Revista Colombiana de Química*, **75** (17).
14. _____, **E. Cifuentes & A. Jiménez**. 1985. Licuefacción del carbón del Cerrejón utilizando breas hidrogenadas como solvente donador de hidrógeno. *Revista Colombiana de Química*. **14**: 59.
15. _____ & **R. Angulo**. 1986. Petroleum heavy oil mixtures as a source of hydrogen in the liquefaction of Cerrejon coal. *Fuel*, **65**: 899.
16. _____, **L. Pacheco, L. Henao, J. Reasoner & L. Bucheir**. 1987. Synergism in coal liquefaction. Libro: Coal science and technology. Editado por: J.A. Mauljin, K.A. Nater y H.A.G Chermin. Elsevier, Amsterdam. **11**: 375.
17. _____ & **S. Cruz**. 1988. Influence of preswelling in the liquefaction of coals. *Fuel*, **67**: 1161.
18. _____, **J. Ramírez & Sergio Cruz**. 1989. Preswelling in the liquefaction of coal. *COAL SCIENCE*. 851 p.
19. _____, **J. Ramírez, S. Cruz**. 1990. Co-processing of some colombian coals using petroleum heavy oils as hydrogen donor and anthracene oil as co-solvent. *Fuel*, Agosto, pp. 1052-1054.
20. _____, **Moreno G. & Cruz S**. 1994. Reactivity of some colombian coals toward CO₂. Influence of swelling. *Fuel*, Julio.
21. _____, **Camacho H. & Polanía A**. 1993. Evaluación de la reactividad hacia la gasificación del carbon del Cerrejon. *Revista Colombiana de Química*, **2** (2): 23-29.
22. _____, **Moreno G. & Ramírez E**. 1991. Estudio del comportamiento de carbones colombianos en el proceso de gasificación. Rodríguez L. E., *Memorias VIII Congreso Colombiano de Química*, Cali, septiembre, 69 p.
23. _____, **J. de J. Díaz, G. Sarmiento**. 1990. Combustibilidad de los carbones de la zona cundiboyacense. *Química e industria*, Dic. **2**: 15-22.
24. _____, **L. S. Ramírez, G. Moreno & L. E. Rodríguez**. 1991. Apropiación y transferencia de tecnología de gasificación de carbón y capacitación de recursos humanos. *Memorias I congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Carbón*. Medellín Agosto, pp. 273-276.
25. _____, **Díaz J. J., Baquero M. C, Moreno G., Montenegro J., Cabarcas H., Arevalo L., Medellín C. y Oyuela L**. 1995. Estudio de la Combustibilidad de carbones planta Martín del Corral. *Memorias Tercer Congreso de Ciencia y Tecnología del Carbón Universidad de la Guajira, Riohacha*, pp. 253-256.
26. _____, **Escallón M., Baquero M. c., Moreno G., Ortiz P & Díaz J. J**. 1996. Reactivity of some colombian coals towards combustion American Chemical Society, Fuel Chemistry Division, Vol. 41, No 3, 212th ACS National Meeting. Orlando, Florida, pp. 1109-1112.
27. _____, **Valderrama G. & Viasús J**. 1996. Influence of maceral composition in the combustion of some colombian coals. American Chemical Society, Fuel Chemistry Division, Vol. 41, No 3, 212th ACS National Meeting. Orlando, Florida, pp. 1123-1126.
28. _____, **Agámez J, Díaz J. J. & Klose W**. 1997. Combustion Behavior of Oxidized coals. ICCS Essen, Germany.
29. _____, **Escallón M., Baquero M. c., Moreno G., Ortiz P & Díaz J. J**. 1996. Reactivity of some colombian coals towards combustion. American Chemical Society, Fuel Chemistry Division, Vol. 41, No 3, 212th ACS National Meeting. Orlando, Florida, pp. 1109-1112.
30. _____, **Díaz J. J., Moreno G., Baquero M., Ortiz P., Medellín C., Arévalo L. & Hurtado J**. Combustibilidad de carbones de Termozipa. *Memorias IV Congreso Nacional y II Internacional de Ciencia y Tecnología del Carbón*, Paipa, Boyacá, 19-15/5/98, pp. 340 - 347.
31. **Wark Warner**. 1999. Contaminación del aire, Ed. Limusa, pp. 18-19.
32. **Rincón J. M., J. M. Velázquez & L. Lesmes**. 1978. Análisis de cenizas de algunos carbones colombianos. *Química e Industria*. Octubre. 23 p.
33. _____, **A. Polanía, J. Castro, O. & Arguello Y**. 1989. Evaluación del cuesco de palma africana y del carbón del Cerrejón para producir carbón activado. *Revista Colombiana de Química*. **18**: 67.
34. _____, **Castro C., Barajas M., & Klose W**. 1997. Effect of solvent preswelling of coal in the develop of high surface carbons. *Carbon Conference*, Penn State, United States.
35. _____ & **Klose W. Wobig H**. 1997. And Determination of the Microstructure f activated chars made from preswollen coals. *Proceedings International Conference on coal science*, 7'12 September, Essen, Germany, Edted by A. Ziegler, K.H. van Heek, J. Klein and W. Wanzl, pp. 1469.
36. **Green House Issues**. Julio 2001, 55: 10-19.
37. **Rincón J. M., J. G. Portilla & Vanegas J**. 1991. Obtención de fertilizantes nitrogenados a partir de carbón. Preparación y caracterización química. *Revista Colombiana de Química*, Vol **20** (1): 1-10.
38. _____, **Quintero C., Bedoya G. & Guevara P**. 1999. Influence of calcium humates from coal in the fertilization of tropical soils. *Prospects for the coal science in the 21st century*. B G. Lee & Z.T Liu, Editors. Shanzi Science and Technology Press, pp. 92
39. _____, **A. Cabrera & P. Guevara**. 2000. Producción, caracterización y pruebas agronómicas de ácidos húmicos producidos con carbones colombianos. *Memorias V Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Carbón*, pp. 231/233, Valledupar, Noviembre 29.