

# Boletín del Grupo Español del Carbón

## ÍNDICE

Editorial	1
Reducción Heterogénea de NOx sobre Materiales Carbonosos	27
Reseñas	79

### Junta Directiva del GEC

Presidente:  
**Rosa Menéndez López**  
Vicepresidente:  
**Diego Cazorla Amorós**  
Secretario:  
**José Rodríguez Mirasol**  
Tesorero:  
**Rafael Moliner Alvarez**  
Vocales:  
**Ignacio Martín Gullón**

**J. Angel Menéndez Díaz**

**Francisco Carrasco Marín**

**M<sup>a</sup> Victoria López Ramón**

**Francisco García Labiano**

**M<sup>a</sup> Jesús Lázaro Elorri**

### Edición

**Ignacio Martín Gullón**

**J. Angel Menéndez Díaz**

Número 4

Junio de 2006

## Editorial

Queridos lectores, volvemos a la carga con un nuevo número del Boletín del Grupo Español del Carbón. Tanto los editores, como todos los miembros de la Junta Directiva, que se reunió en Madrid el pasado mes de marzo, estamos satisfechos por la aceptación que está teniendo nuestro Boletín entre todos los asociados y personas relacionadas con la Ciencia y Tecnología de nuestros cotidianos materiales negros. Esto nos permite sacar un nuevo número, el cuarto, en un periodo inferior a un año, lo cual supera las expectativas que inicialmente nos habíamos planteado.

El presente número contiene un artículo divulgativo y varias reseñas. En esta ocasión, escribe el artículo la Dra. Covadonga Pevida García, ganadora del premio al mejor Joven Investigador Doctor del GEC en la edición de 2005, que le fue otorgado en un acto celebrado durante la última Asamblea General del Grupo en Baeza. En su artículo, nos presenta la problemática de la generación de NOx en procesos energéticos, así como el estudio del mecanismo de su reducción a N<sub>2</sub> cuando se empleaba un material carbonoso como reactivo. Para estudiar el mecanismo de reacción, empleó la

novedosa e interesante fórmula de los carbones modelo, es decir, crear un carbonizado a partir de mezclas de polímeros para simular un carbón mineral.

También queremos aprovechar la ocasión para recordaros que el próximamente tendrá lugar la edición europea del congreso internacional CARBON'06, que tendrá lugar del 16 al 21 de Julio próximo en la localidad escocesa de Aberdeen. La siguiente edición europea tendrá lugar en Biarritz en 2009. Y anunciaros que para la edición de 2012 el Grupo Español del Carbón presentará candidatura para organizar dicho congreso en Málaga. La elección de la sede europea de la edición de la CARBON'12 la decide la Junta Directiva de la European Carbon Association (ECA), confederación de los Grupos de Carbón Británico, Alemán, Francés, Polaco y Español.

Volveremos después del verano.

## Reducción Heterogénea de NO<sub>x</sub> sobre Materiales Carbonosos

Covadonga Pevida García

Dpto. de Tecnología Energética y Medioambiental  
Instituto Nacional del Carbón, CSIC



Durante la combustión del carbón se generan una serie de contaminantes entre los que se encuentran los óxidos de nitrógeno, N<sub>2</sub>O, NO y NO<sub>2</sub>, los dos últimos habitualmente se engloban en un solo grupo, denominado NO<sub>x</sub>. Estos óxidos están involucrados en muchos de los problemas medioambientales más acuciantes: el llamado “efecto invernadero”, la destrucción de la capa de ozono estratosférico, lluvia ácida, *smog* fotoquímico, etc.

El llamado “efecto invernadero” es en sí, un fenómeno natural. Los gases responsables de este efecto se han mantenido en concentración media prácticamente constante a través del tiempo, siguiendo ciclos naturales de formación y destrucción. Sin embargo, desde la Revolución Industrial, los niveles de emisión de estos gases han sufrido un progresivo aumento con el tiempo. Este aumento, de origen fundamentalmente antropogénico, puede llegar a sobrepasar los niveles que los procesos naturales pueden contrarrestar. Y en los últimos tiempos este equilibrio parece haberse roto, detectándose un aumento gradual de CO<sub>2</sub>, NO, CH<sub>4</sub>, etc., en la atmósfera.

Los óxidos de nitrógeno pueden provenir de dos fuentes: naturales y antropogénicas. Entre las fuentes naturales se encuentran la actividad bacteriana que interviene tanto en la eliminación como en la emisión de NO<sub>x</sub>; emisiones procedentes de distintos ecosistemas como los bosques, las emisiones de compuestos nitrogenados por los océanos, así como fenómenos atmosféricos, tales como los rayos, que pueden proporcionar la energía suficiente para hacer reaccionar el nitrógeno con el oxígeno presente en el aire.

Entre las fuentes antropogénicas el sector *transporte* es el responsable de más del 60% de las emisiones totales. El transporte marítimo utiliza como principal combustible fuelóleo de baja calidad, que puede llegar a emitir más de 70 g NO<sub>2</sub> por kg de combustible.

Los automóviles, dado el elevado número de fuentes emisoras que existen, son uno de los factores más importantes dentro de las emisiones de origen antropogénico. Los catalizadores de algunos automóviles reducen las emisiones de muchos contaminantes, incluido NO; sin embargo, suele ser a costa de aumentar el nivel de N<sub>2</sub>O emitido.

Las *centrales térmicas* son el sector, después del transporte, que contribuye en mayor medida a las emisiones de NO<sub>x</sub>. Determinar las distintas contribuciones de los diferentes combustibles utilizados en todo el mundo es una tarea realmente complicada. Cada recurso energético, así como cada tecnología, genera emisiones distintas. En el caso de las emisiones debidas a las grandes instalaciones de combustión en España, las centrales que queman carbón son las que contribuyen en mayor medida a las emisiones de NO<sub>x</sub> [1].

Por cada unidad de energía generada en una central térmica (MJ), la combustión de carbón produce una media de 245 mg de NO<sub>x</sub>, los combustibles líquidos 155 mg y el gas natural 115 mg. En la Figura 1 se muestra la contribución de las grandes instalaciones de combustión en España durante el año 2002, a la emisión total de NO<sub>x</sub> (296 kt).

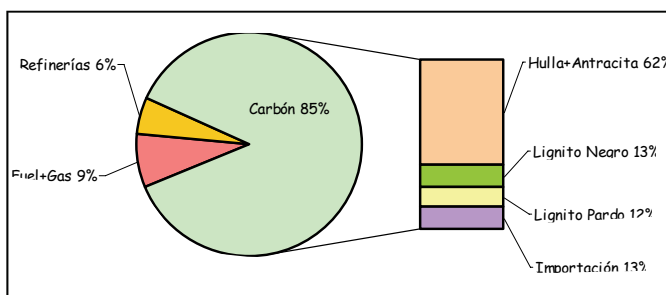


Figura 1 Contribución relativa de las grandes instalaciones de combustión en España, durante el año 2002, a las emisiones de NO<sub>x</sub> [1].

En 1988 la CEE adoptó diversas normativas sobre la limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes, procedentes de grandes instalaciones de combustión. Esta directiva puso como

## Reducción Heterogénea de NO<sub>x</sub> sobre Materiales Carbonosos

objetivo para España que en el año 2003 se redujeran las emisiones de NO<sub>x</sub> en un 40% respecto a las de 1980, lo que supuso un límite máximo de emisión de 220 kt de NO<sub>x</sub> en 2003. En la actualidad, existe una nueva legislación relativa a la prevención y control integrados de la contaminación. Esta directiva, 96/61 establece criterios para determinar los valores límite de emisión, los parámetros y las medidas técnicas equivalentes, basándose en las mejores técnicas disponibles desde el punto de vista medioambiental

El futuro de la generación de energía a partir del carbón está estrechamente vinculado con la preocupación por el medio ambiente. Las nuevas tecnologías de combustión modifican el proceso, creando unas condiciones de operación favorables para la reducción de NO<sub>x</sub> proveniente de la materia volátil, disminuyendo así la proporción final de óxidos de nitrógeno. Sin embargo, el residuo carbonoso o carbonizado es un material rico en nitrógeno y constituye la principal fuente de NO<sub>x</sub>. Por ello, la investigación actual está dirigida a minimizar las emisiones de NO<sub>x</sub> provenientes del carbonizado.

En el departamento de Tecnología Energética y Medioambiental del Instituto Nacional del Carbón se han venido desarrollando a lo largo de los últimos diez años distintos proyectos de investigación encaminados al estudio de la reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno. En este marco, el presente trabajo constituye un estudio fundamental sobre la reducción heterogénea de NO sobre la superficie de materiales carbonosos. Como puntos más relevantes del mismo destacar la obtención de un carbón modelo, de composición y propiedades perfectamente definidas, y el desarrollo de una sistemática experimental específica para el estudio de la reducción heterogénea de NO.

El conocimiento de la química del carbón es fundamental para la comprensión de los mecanismos involucrados en las emisiones de óxidos de nitrógeno a partir del nitrógeno contenido en el carbón. El carbón tiene una estructura química compleja, integrada por agrupamientos aromáticos enlazados entre sí, es insoluble y no cristalino. Además, la concentración de

heteroátomos (nitrógeno, azufre, oxígeno) presentes es relativamente baja, por lo que es difícil el estudio en el propio carbón de las transformaciones que las distintas funcionalidades sufren en procesos de pirólisis y combustión.

Distintos autores han desarrollado estudios sobre la reducción heterogénea de NO sobre materiales carbonosos empleando carbonizados de resinas fenol-formaldehído [2,3,4], grafitos [5] y carbones activos [6,7,8]. Frente a la complejidad estructural del carbón, el empleo de compuestos modelo facilita notablemente el estudio, aportando funcionalidades conocidas en un entorno químico definido. Sin embargo, esta simplificación no considera aspectos importantes como la estructura del carbón, las interacciones entre grupos superficiales o la existencia de entrecruzamientos.

En el presente trabajo, a partir de compuestos modelo de composición y propiedades definidas, se obtuvo un carbón modelo que se empleó como material carbonoso de partida para los estudios de reducción heterogénea de NO. Este carbón modelo representa adecuadamente la matriz carbonosa –funcionalidades de nitrógeno incluidas- y presenta el mismo tipo de centros activos que un carbón bituminoso alto en volátiles.

### OBTENCIÓN DE UN CARBÓN MODELO

En primer lugar, se seleccionaron compuestos modelo representativos de la matriz carbonosa y de las funcionalidades de nitrógeno contenidas en un carbón bituminoso alto en volátiles. Los polímeros modelo permiten el estudio de la estructura carbonosa, proporcionando información sobre las reacciones que involucran a los constituyentes macromoleculares en el carbón. Asumiendo que la matriz carbonosa del carbón está compuesta por unidades aromáticas e hidroaromáticas entrecruzadas por puentes, alifáticos o éter, para formar agregados macromoleculares, la resina fenol-formaldehído (RPF), parece el polímero modelo idóneo para simular esta estructura.

La mayor parte del nitrógeno en el carbón se encuentra ligado a la fracción orgánica carbonosa e integrado en

## Reducción Heterogénea de NO<sub>x</sub> sobre Materiales Carbonosos

anillos aromáticos, pirrólicos y piridínicos, fundamentalmente. El empleo de compuestos modelo de nitrógeno proporciona funcionalidades perfectamente definidas, en concentración suficiente y con una menor complejidad estructural que un carbón mineral. En el presente trabajo se eligieron los siguientes compuestos nitrogenados para la elaboración del carbón modelo: Polivinilpirrolidona (PVP), Poli-4-vinilpiridina (p4VP), Acridina (AC) y 9-Cianoantraceno (9CYA).

Para la obtención de la mezcla modelo final, a la que se denominó *carbón modelo*, se llevó a cabo un proceso de optimización utilizando para ello un dispositivo integrado por una termobalanza y un espectrómetro de masas (TG-MS) acoplado. Puesto que el carbón modelo debe simular el comportamiento de un carbón bituminoso alto en volátiles, la optimización se realizó teniendo en cuenta el comportamiento del carbón Camocha (CA) –tomado como referencia en este estudio– en procesos de tratamiento térmico, fundamentalmente la desvolatilización, considerada como la etapa inicial en la mayoría de los procesos de utilización del carbón.

En la Tabla 1 se muestran los análisis inmediato y elemental correspondientes a los carbones modelo y CA. Los contenidos en volátiles, carbono e hidrógeno son muy similares. Sin embargo, el carbón modelo es más rico en nitrógeno y oxígeno. Cabe destacar la ausencia de materia mineral en el carbón modelo, lo cual elimina el efecto que esta pudiera tener en el estudio de mecanismos de reacción.

### CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN MODELO

Tenemos un carbón modelo, de composición conocida y comportamiento térmico similar al de un carbón mineral elegido como referencia. Es indudable que el empleo de este carbón modelo va a suponer unas ventajas claras para la elucidación de mecanismos de reacción, la primera de ellas, que su composición es conocida. Sin embargo, puesto que la reactividad de un material no depende únicamente de su composición sino también, y muy especialmente en el caso de reacciones heterogéneas, de sus características texturales y estructurales, se llevó a cabo una caracterización exhaustiva del carbón modelo. Se analizó su comportamiento térmico en experimentos de pirólisis, perfiles de combustión y reactividad isotérmica frente al oxígeno. Se caracterizó su textura -porosa y óptica-, y su estructura -difracción de rayos X- y finalmente se estudió su química superficial -análisis XPS, método de Boehm y adsorción de vapor de agua-.

En virtud de las similitudes de comportamiento en pirólisis y combustión, tanto en lo que respecta a la pérdida de masa como a la evolución de especies gaseosas, entre el carbón modelo y el carbón mineral CA, se propusieron mecanismos de formación para las especies gaseosas generadas, tomando como referencia el comportamiento de las funcionalidades presentes en el carbón modelo. En el caso particular de la formación de NO, se puso de manifiesto que las principales contribuciones provienen de las funcionalidades pirrólicas.

Tabla 1 Análisis inmediato y microanálisis elemental de los carbones Camocha (CA) y modelo (CM)

	Análisis inmediato		Microanálisis elemental				
	(% masa, cp)		(% masa, cp)				
	Materia volátil	Cenizas*	C	H	N	S	O
CA	40,8	7,6	84,3	5,5	1,8	1,6	6,8
CM	39,2	—	81,8	5,3	2,7	—	10,2

cp: base combustible puro; \* calculado en base seca

## Reducción Heterogénea de NO<sub>x</sub> sobre Materiales Carbonosos

El carbonizado modelo presenta una tipología de centros activos en superficie similar a la del carbonizado CA, pero en mayor concentración. Este hecho, junto con la mayor accesibilidad a los centros activos, facilita el estudio de reacciones heterogéneas gas-sólido, fundamentales para el conocimiento de los mecanismos de formación-reducción de NO.

### ESTUDIO DE LA REDUCCIÓN HETEROGÉNEA DE NO

Una vez obtenido y caracterizado el carbón modelo se estuvo en disposición de abordar el estudio de la reducción heterogénea de NO sobre la superficie de materiales carbonosos, en concreto, sobre la superficie del carbonizado modelo. Con objeto de determinar la influencia de la presencia de nitrógeno en el carbonizado modelo sobre la reducción de NO, se preparó un *carbonizado modelo sin nitrógeno*.

El dispositivo experimental utilizado estuvo compuesto por un espectrómetro de masas (MS) y un espectrofotómetro infrarrojo por transformada de Fourier (IRTF) montados en paralelo, y acoplados ambos a un analizador termogravimétrico (TG). En la Figura 2 se muestra una imagen del mismo. En una primera etapa se desarrolló una sistemática experimental que permitiera el análisis cuantitativo simultáneo por MS e IRTF.

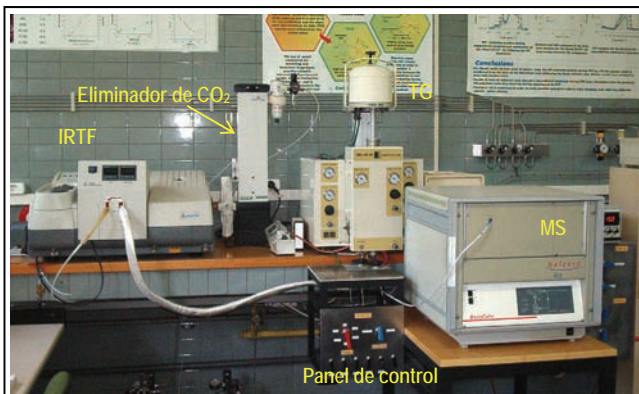


Figura 2. Imagen del dispositivo TG-MS-IRTF utilizado en el presente trabajo.

El estudio de la reducción heterogénea de NO sobre los carbonizados modelo –con y sin nitrógeno– se dividió en dos grandes bloques: estudios de reducción a temperatura programada y estudios de reducción isotérmica. Se analizó la influencia del tipo y concentración de centros activos así como del contenido en nitrógeno en el carbonizado y se consideraron dos intervalos de temperatura: baja temperatura, con objeto de estudiar la quimisorción de NO y alta temperatura, donde predomina la gasificación del carbonizado con NO.

Los resultados obtenidos mostraron que el nitrógeno de composición tiene una escasa participación en la reducción heterogénea de NO, tal como se deduce del comportamiento similar de los carbonizados modelo con y sin nitrógeno. Quimisorción y gasificación no son procesos independientes dentro de la reducción heterogénea de NO sobre la superficie de materiales carbonosos y la temperatura es un parámetro fundamental que determina el mecanismo de reacción.

Se llevaron a cabo, asimismo, estudios de cinética en régimen estacionario. El empleo de <sup>15</sup>NO como gas de reacción puso de manifiesto el papel que juegan los complejos superficiales de nitrógeno como intermedios en la reacción NO-C.

Los resultados obtenidos permitieron el planteamiento de mecanismos de reducción heterogénea de NO sobre la superficie de materiales carbonosos. Todo ello en ausencia del efecto catalítico que podría derivarse de la presencia de materia mineral:

- En las condiciones experimentales del presente trabajo, la reacción global NO-C genera N<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> como principales productos de reducción.
- El mecanismo de quimisorción de NO sobre la superficie de materiales carbonosos implicaría la formación de N<sub>2</sub> simultáneamente a la de complejos superficiales oxigenados y, aunque en menor extensión, formación de complejos superficiales de nitrógeno.

## Reducción Heterogénea de NO<sub>x</sub> sobre Materiales Carbonosos

· Por su parte, el mecanismo global del proceso de reducción heterogénea de NO a alta temperatura resultaría de la combinación entre el ataque directo de NO sobre la superficie carbonosa formando complejos superficiales y la desorción de éstos creando nuevos centros de reacción.

El presente trabajo aporta un paso más en el conocimiento de la química involucrada en procesos de formación y reducción de óxidos de nitrógeno. Fruto del mismo son una serie de publicaciones en revistas científicas internacionales [9,10,11,12,13,14,15,16,17,18] donde se detallan tanto la metodología experimental seguida en las diferentes etapas del trabajo como los resultados experimentales obtenidos.

- [1] CNSE. Información básica del sector eléctrico, Comisión Nacional del Sistema Eléctrico, 1998 y 2002.
- [2] Chambrion, Ph., Kyotani, T. y Tomita, A. *Role of N-containing surface species on NO reduction by carbon*. Energy and Fuels, 12, 416-421, 1998.
- [3] Teng, H., Suuberg, E.M. y Calo, J.M. *Studies on the reduction of nitric oxide by carbon: the NO-carbon gasification reaction*. Energy and Fuels, 6, 398-406, 1992.
- [4] Teng, H. y Suuberg, E.M. *Chemisorption of nitric oxide. 1. Reversible nitric oxide sorption*. J. Phys. Chem., 97, 478-483, 1993.
- [5] de Soete, G.G. *Heterogeneous N<sub>2</sub>O and NO formation from bound nitrogen atoms during coal char combustion*. 23<sup>rd</sup> Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburg, 1257-1264, 1990.
- [6] Furusawa, T., Kunii, D., Osuma, A. y Yamada, N. *Rate of reduction of nitric oxide by char*. Int. Chem. Eng., 20, 239-244, 1980.
- [7] Illán-Gómez, M.J., Linares-Solano, A. y Salinas-Martínez de Lecea, C. *NO reduction by activated carbons. 1. The role of carbon porosity and surface area*. Energy and Fuels, 7, 146-154, 1993.
- [8] Illán-Gómez, M.J., Linares-Solano, A., Radovic, L.R. y Salinas-Martínez de Lecea, C. *NO reduction by activated carbons. 7. Some mechanistic aspects of uncatalyzed and catalyzed reaction*. Energy and Fuels, 10, 158-168, 1996.
- [9] Arenillas A., Rubiera F., Pevida C., Pis J.J. *A comparison of different methods for predicting coal devolatilisation kinetics*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 58-59 (15-17), 685-701, 2001.
- [10] Arenillas A., Rubiera F., Pevida C., Pis J.J. *Thermogravimetric-mass spectrometric study on the evolution of nitrogen compounds during coal devolatilisation*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 65 (1), 57-70, 2002.
- [11] Rubiera F., Arenillas A., Pevida C., García R., Pis J.J., Steel K.M., Patrick J.W. *Coal structure and reactivity changes induced by chemical demineralization*. Fuel Processing Technology, 79 (3), 273-279, 2002.
- [12] Arenillas A., Pevida C., Rubiera F., Pis J.J. *Comparison between the reactivity of coal and synthetic coal models*. Fuel, 82 (15-17), 2001-2006, 2003.
- [13] Arenillas A., Pevida C., Rubiera F., García R., Pis J.J. *Characterization of model compounds and a synthetic coal by TG/MS/FTIR to represent the pyrolysis behaviour of coal*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 71, 747-763, 2004.
- [14] Arenillas A., Rubiera F., Pevida C., Ania C.O., Pis J.J. *Relationship between structure and reactivity of carbonaceous materials*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 76 (2), 593-602, 2004.
- [15] Arenillas A., Pevida C., Rubiera F., Palacios J.M., Navarrete R., Denoyel R., Rouquerol J., Pis J.J. *Surface characterisation of synthetic coal chars made from model compounds*. Carbon, 42, 1339-1344, 2004.
- [16] Pevida C., Arenillas A., Rubiera F., Pis J.J. *Heterogeneous reduction of nitric oxide on synthetic coal chars*. Fuel, 84 (17), 2275-2279, 2005.



## Reducción Heterogénea de NO<sub>x</sub> sobre Materiales Carbonosos

[17] Arenillas A., Rubiera F., Moreno A.H., Pevida C., Pis J.J. *A study of the evolution of nitrogen compounds during coal devolatilisation*. Clean Air: Int. Journal on Environmental Combustion Technologies, 6, 1-16, 2005.

[18] Pevida C., Arenillas A., Rubiera F., Pis J.J. *Synthetic coal chars for the elucidation of NO heterogeneous reduction mechanisms*. Fuel (enviada)

**Covadonga Pevida García** realizó su Tesis Doctoral titulada "Aplicación de compuestos modelo en la

elucidación de mecanismos de reducción heterogénea de NO sobre materiales carbonosos" en el departamento de Tecnología Energética y Medioambiental, INCAR. Por este trabajo de investigación, dirigido por los doctores Ana Arenillas, Fernando Rubiera y José Juan Pis recibió el 1<sup>er</sup> premio "Jóvenes Investigadores Doctores" GEC 2005. La Dra. Pevida ha realizado diversas estancias en centros extranjeros tanto pre-doctorales, en el laboratorio MADIREL (CNRS-Université de Provence, Francia), como post-doctorales, en el Laboratoire d'Application de la Chimie à l'Environnement (CNRS-Université Lyon 1, Francia) y en el Fuel and Energy Centre (Nottingham University, Reino Unido), donde se encuentra en la actualidad.

### Reseña

**Por: Yolanda Fernández  
INCAR, CSIC**

Libro: "*Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation*"  
Teresa J. Bandosz, edit. Hardbound, 2006. ISBN: 0-12-370536-3. 588 pág.

precio: 210€

El último volumen de las series *Interface Science and Technology* es un buen recurso para aquellos que trabajan con materiales carbonosos, y para los que buscan una comprensión teórica y práctica más profunda del tema. Debido a una legislación medioambiental cada vez más restrictiva, son muchas las investigaciones centradas en confeccionar lo que se puede denominar como carbones "de diseño", para solucionar muchos de los problemas medioambientales a los que se enfrenta nuestra sociedad. Por ello, este libro, puede considerarse como un punto de referencia, tanto para expertos como para principiantes en la materia.

*Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation* aborda todos aquellos aspectos relacionados con el fenómeno de adsorción, haciendo énfasis en el papel que ocupa la superficie del carbón, tanto por los efectos de la estructura porosa como de la química superficial. Pero sin duda alguna, el punto fuerte del libro reside en las aplicaciones medioambientales que se están llevando a cabo en la actualidad, y que cubren un amplio espectro que va desde la purificación del aire y del agua, pasando por el almacenamiento de energía y la eliminación de gases tóxicos, hasta terminar con las aplicaciones biomédicas.

## Reseña

---

El libro consta de 11 capítulos escritos por 17 autores, todos ellos especialistas reconocidos en cada uno de sus campos y trabajando activamente con materiales carbonosos. Es palpable la habilidad con que se expresan los estilos individuales de cada uno de ellos, proporcionando enfoques y opiniones diferentes que enriquecen de manera global, la visión sobre el tema.

Destaca la adecuada organización de los capítulos, con abundante bibliografía, seleccionada mayoritariamente dentro de los últimos 10 años. El libro está provisto de gráficas, dibujos y tablas que ayudan a visualizar los aspectos más importantes facilitando su comprensión. Algo que resulta muy práctico es la presencia de un índice por temas al final del libro, que ayuda a localizar rápidamente aspectos clave de interés.

### CONTENIDOS

- Capítulo 1. Types of carbon adsorbents and their production (J. Ángel Menéndez Díaz, I. Martín-Gullón).
- Capítulo 2. Pore formation and control in carbon materials (M. Ingaki, J.M.D. Tascón).
- Capítulo 3. Characterization of nanoporous carbons by using gas adsorption Isotherms (M. Jaroniec, J. Choma).
- Capítulo 4. Surface chemistry of activated carbons and its characterization (T.J. Bandoz, C.O. Ania).
- Capítulo 5. Desulfurization on activated carbons (T.J. Bandoz).
- Capítulo 6. Applications of nanotextured carbons for supercapacitors and hydrogen storage (E. Raymundo-Pinero, F. Beguin).
- Capítulo 7. Activated carbon adsorption in drinking water treatment (T. Karanfil).
- Capítulo 8. Adsorption of organic compounds onto activated carbon – applications in water and air treatments (P. Le Cloirec, C. Faur).
- Capítulo 9. Activated carbon filters and their industrial applications (J. Przepiorski).
- Capítulo 10. Adsorption of chemical warfare agents (P. Lodewyckx).
- Capítulo 11. Activated carbons as medical adsorbents (S.V. Mikhalovsky, V.G. Nikolaev).

---

## Reseña

El pasado 30 de Marzo de 2006 fue presentada en la Facultad de Químicas de la Universidad de Oviedo la tesis doctoral de **Miguel Cabielles Ondina**, titulada: “**REUTILIZACIÓN DE INQUEMADOS DE CENIZAS VOLANTES COMO PRECURSORES PARA LA PREPARACIÓN DE MATERIALES GRAFÍTICOS**”.

Dicha tesis se desarrolló en el Instituto Nacional del Carbón (INCAR), CSIC y fue dirigida por los Dres. **Ana B. García Suárez** y **Miguel A. Montes Morán**.

La tesis aborda la problemática medioambiental que generan las cenizas volantes (CV) producidas durante la combustión del carbón. En términos de cantidad, estas cenizas constituyen el 70-80% de los residuos sólidos producidos en centrales térmicas de carbón pulverizado. El almacenamiento de las CV en escombreras lleva asociado problemas medioambientales de sobra conocidos. Actualmente, parte de las CV generadas se reutilizan como aditivo en la fabricación de cemento, si bien esta vía de reutilización está condicionada por la cantidad de inquemados (IQ) todavía presentes en las cenizas. Por tanto, el incremento en la reutilización de CV y, en consecuencia, la disminución de los problemas que su depósito conlleva, va asociada a la separación y posterior utilización de los IQ. El trabajo desarrollado en la tesis explora una nueva vía de aprovechamiento de estos residuos. Para ello se propone como objetivo final el preparar materiales grafiticos con características estructurales adecuadas para ser empleados en aplicaciones industriales, utilizando inquemados de cenizas volantes como precursores y mediante tratamiento a temperaturas elevadas. Para alcanzar este objetivo se seleccionaron CV procedentes de tres centrales térmicas. Mediante procedimientos adecuados (aglomeración con aceites, tratamiento ácido) se obtuvieron muestras con altos contenidos en IQ. Los distintos precursores así obtenidos fueron caracterizados en lo que respecta a la cantidad, composición y distribución de las partes orgánica y mineral, y grafitizados en el intervalo de temperaturas 1800-2700°C, utilizándose distintos tiempos de residencia. Los materiales grafiticos obtenidos se caracterizaron mediante XRD y espectroscopía Raman. Además, se determinó la conductividad eléctrica de los materiales en polvo. Como resultado más destacable se encontró que los materiales grafiticos preparados a partir de inquemados de CV, mediante tratamiento a temperaturas  $\geq 2400^\circ\text{C}$ , presentan características estructurales y conductividades eléctricas comparables a las correspondientes a grafitos sintéticos que están siendo utilizados en diversas aplicaciones industriales. El estudio detallado del proceso de grafitización de este tipo de precursores permitió diferenciar dos etapas que transcurrían en sendos segmentos de temperatura. Asimismo, se puso en evidencia que la material mineral, particularmente alguno de sus constituyentes, actúan como catalizadores durante la grafitización de los inquemados. Dicho efecto catalítico era el resultado de dos procesos contrapuestos que se detallan en la tesis. Finalmente, el análisis conjunto de los resultados permitió establecer distintas relaciones entre la conductividad eléctrica y parámetros cristalinos y Raman de los materiales preparados a partir de los inquemados de las CV.

*Para más información escribir a: [anabgs@incar.csic.es](mailto:anabgs@incar.csic.es)*