



Aproximación al efecto del carbón mineral no quemado en las comunidades ícticas

MARCELA GRIJALBA-BENDECK Y ANDRÉS FRANCO

Resumen

Entre las sustancias contaminantes que alteran los ecosistemas terrestres y acuáticos, se encuentra el carbón mineral no quemado. Aunque su exportación representa uno de los renglones económicos más importantes para Colombia, las actividades de extracción, cargue y transporte, conllevan impactos ambientales necesarios de ser evaluados y cuantificados. En este sentido, se presenta el escenario bajo el cual la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, en el marco de su programa de Doctorado Interinstitucional en Ciencias del Mar, se ha propuesto profundizar a través de uno de sus proyectos en el conocimiento de los efectos del carbón mineral en un modelo de pez marino.

Palabras clave

Mar Caribe, Colombia, carbón, peces.

Abstract

Unburned coal is one of the pollutants altering terrestrial and aquatic ecosystems. Although the export of coal is one of the most important industries for Colombia's economy; mining activities, load and coal transport causes environmental impacts that must be assessed and quantified. Here is the scenario under which the University of Bogotá Jorge Tadeo Lozano in the framework of Inter-Doctoral Program in Marine Sciences, evaluates the effects of coal on a marine fish model.

Key words

Caribbean Sea, Colombia, coal, carbon, fish.

A través de diversas investigaciones en peces se ha demostrado que muchos ecosistemas acuáticos de Colombia están enfermos por causa de la contaminación biológica y química. En este sentido, el estudio de los peces como bioindicadores de la presencia de sustancias tóxicas o condiciones de estrés ha ganado cada vez más importancia, considerando estos recursos modelos fisiológicos de amplia aplicación (Blanton & Specker: citados en Bernhardt, 2008).

Los peces, por años, han sido empleados como indicadores de la calidad de aguas dulces y marinas debido básicamente a dos razones, una de ellas se basa en que algunas sustancias químicas terminan en los ambientes acuáticos donde pueden permanecer por diferentes escalas de tiempo y ser de fácil detección a través de los peces que habitan en ellas, y la segunda se refiere a que los peces muestran respuestas ante contaminantes de forma semejante a otros grupos funcionales, lo que incrementa el interés y aplicabilidad de su evaluación (Blanton & Specker: citados en Bernhardt, 2008). Ante los contaminantes y otros cambios ambientales, los peces exhiben, por ejemplo, amplios rangos de variación en la expresión de su sexualidad y forma de vida, evidenciando plasticidad morfológica como respuesta adaptativa (Bortone & Davis, 1994), lo que favorece la investigación en este campo.

Entre los contaminantes biológicos que afectan a los peces se describen las infestaciones masivas de parásitos como los nemátodos (Olivero-Verbel *et al.*, 2005, 2006a, 2011; Pardo *et al.*, 2007), así como también la contaminación química, que se ha detectado debido a la presencia en el ambiente de compuestos como: sustancias disruptivas endocrinas, EDS, (Kavanagh *et*



Attribution-ShareAlike 3.0 Unported

► El ferrocarril de El Cerrejón, donde el transporte de carbón no cesa.

al., 2004); percloratos (Bernhardt *et al.*, 2006); compuestos orgánicos sintéticos brominados y clorinados (Bortone & Davis, 1994), hidrocarburos aromáticos policíclicos, HAPS, (Gesto Rodríguez, 2008; Johnson Restrepo *et al.*, 2008); compuestos perfluorados (sulfonatos de perfluorooctano, PFOS), y su metabolito –ácido perfluorooctanoico, PFOA– (Kannan *et al.*, 2004; Olivero Verbel *et al.*, 2006b) y finalmente se encuentran los metales pesados (Alonso & Pineda, 1997; Alonso *et al.*, 2000; Campos, 1987, 1990; Hernández & González, 1993; Marrugo Negrete *et al.*, 2008; Olivero *et al.*, 2002, 2008a; 2011).

El carbón es otra de las sustancias que se ha mencionado, con impacto sobre las comunidades ícticas. Esta sustancia es conocida como uno de los contaminantes de ambientes marinos y estuarinos más antiguos, por ser ampliamente utilizado a nivel mundial (Ahrens & Morrisey, 2005). El carbón ha sido, desde tiempos del Imperio Romano, un recurso de gran importancia para la sociedad, por su capacidad de producir calor y como materia prima; la explotación desencadenó la fabricación, a gran escala, de hierro y con ello, su aporte a la revolución industrial, iniciada hace tres siglos, fue fundamental. Frente al constante crecimiento de las poblaciones, la producción de carbón también ha venido en aumento. Según su utilidad, se habla de “carbón duro” –bituminosa y antracita– que se conoce además



como “carbón térmico” y metalúrgico. Es altamente energético y representa mayor valor. Por lo tanto, domina el comercio del carbón a nivel mundial (Ahrens & Morrisey, 2005).

La explotación y comercialización del carbón es una actividad que está lejos de desaparecer. Se ha estimado que la demanda mundial de energía, entre 1995 y 2020, se incrementará en un 65 %; se proyecta que el 95 % de este valor será cubierto por los combustibles fósiles, entre ellos el carbón (Ahrens & Morrisey, 2005). Desde el inicio de su aprovechamiento, el carbón fue y sigue siendo transportado principalmente por vía marítima: el 60 % de los países que lo consumen se encuentran aproximadamente a más de 50 km de sus minas de explotación (Ahrens & Morrisey, 2005).

La exportación del mineral, en Colombia, ha ganado importancia en la zona costera, donde el número y la capacidad de los puertos que lo embarcan se han incrementado durante los últimos años.

El carbón es extraído de los departamentos de La Guajira y Cesar, y es muy apetecido en el mercado mundial, entre otras razones por su bajo contenido de azufre y cenizas (Agudelo, 1993). Desde las tolvas de acopio de los puertos costeros, el mineral se envía, a través de bandas y palas mecánicas, a barcasas carboníferas y, de allí, a los barcos.

Los peces se han empleado como indicadores de calidad de aguas dulces y marinas, entre otras cosas, porque sustancias químicas terminan en ambientes acuáticos por diferentes escalas de tiempo, siendo de fácil detección a través de quienes habitan en ellas.

En la mayoría de los puertos, el mecanismo de transporte del carbón es abierto: el carbón queda expuesto a los efectos de la lluvia y el viento, lo que implica el vertimiento de carbón a lo largo de la costa, con efectos desconocidos en los peces. En años recientes, se ha demostrado que la exposición al polvillo de carbón aéreo, en la minería carbonífera, en Puerto Libertador, departamento de Córdoba, ha incrementado la incidencia de lesiones del ADN en células sanguíneas de roedores (León *et al.*, 2007), sugiriendo que la minería del carbón podría representar una amenaza potencial para la salud humana y los recursos.

El carbón es un elemento que, aunque no presenta problemas de derrames y fugas, como los otros combustibles fósiles (*i.e.* petróleo y gas), sí conlleva otros efectos (INVEMAR, 2002). Entre ellos, está el impacto de su polvillo en playas turísticas y la generación de ácidos sulfurosos y sulfúricos que pueden reaccionar con el agua, disminuyendo el pH (INVEMAR, 2001). A nivel de las comunidades ícticas, se ha propuesto que



www.electricshk.com



Fotografías: Simón Rodríguez y Guillermo Contreras

el polvillo de carbón, como otros sedimentos, incrementa la turbidez del agua, transforma el hábitat por su acumulación en pozas del fondo, afectando sitios de reproducción, dificultando la obtención de alimento para la ictiofauna herbívora, deteriorando los refugios para los peces y alterando sus ciclos biológicos (Forman *et al.*, 2003).

En Colombia, son escasos los trabajos efectuados respecto al tema. Algunos revelan que el carbón parece no tener un efecto evidente en la calidad del agua ni en los recursos ícticos; en este sentido, el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés”, INVEMAR (1988, 1992) argumenta que, en términos de composición y abundancia, la comunidad de peces de las formaciones coralinas de Bahía Portete no sufrieron efectos a causa del carbón explorado desde Puerto Bolívar, dejando como salvedad que el cargue, en este puerto, es directo y no a través de barcazas y palas mecánicas.

Agudelo (1993), demostró que los bloques de carbón en Santa Marta favorecen la fijación de organismos y una estrecha dependencia de las concentraciones de ph, nitratos y fenoles totales, con el aumento de la concentración de polvillo de

► Arriba - Figura 1.
a) Sistemas de acuario del laboratorio de toxicología de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Sede Santa Marta y, b) larvas del molusco bivalvo *Argopecten nucleus* para pruebas con lodos de perforación.

► Pág. 61 - El carbón mineral, como productor de energía, ha aumentado la demanda en las últimas dos décadas.



carbón. Posteriormente, evidenció un descenso en los valores de dichos parámetros, señal presumible de adsorción. Similares resultados se han registrado en otras partes del mundo, con el carbón de igual naturaleza (Woodhead & Parker, 1983; Woodhead & Jacobson, 1983; Humphries *et al.*, 1983).

A nivel mundial, Ahrens y Morriset (2005) realizaron una de las más completas revisiones bibliográficas en torno al impacto del carbón mineral no quemado en los ambientes marinos, ofreciendo una visión completa de las investigaciones desarrolladas en el tema a nivel mundial; entre las realizadas *Ex situ* se destacan la de Carlson *et al.* (1979) en Montana, Estados Unidos, quienes demostraron que la mortalidad de los peces juveniles y adultos de la especie *Pimephales promelas* y su madurez tardía fue a causa de los hidrocarburos aromáticos policíclicos, contenidos en el carbón bituminoso allí explotado; en la misma región, Gerhart *et al.* (1981), detectaron abrasiones, secreción de mucus y acumulación de partículas de carbón al interior del intestino, en la misma especie.

Con respecto a los metales pesados asociados al carbón mineral no quemado, Hollis *et al.* (1996), en Canadá, detectaron incrementos en las concentraciones de Cd en el epitelio branquial de *Oncorhynchus mykiss*; por su parte, Stoker *et al.* (1985) corroboraron el efecto de los hidrocarburos asociados al carbón, generando hiperplasia, taponamiento de los vasos sanguíneos de los tejidos branquiales y alteraciones, a nivel celular, en tejidos de *Ictalurus nebulosus* y *Oncorhynchus mykiss gairdneri*, en la planta piloto de Fort Lewis, Washington.

Más tarde, Parra *et al.* (2008), en Maracaibo, Venezuela, registraron baja toxicidad del carbón mineral para la especie *Poecilia sphenops* y, años después, en 2010, Nakajima *et al.*, investigaron la ecotoxicidad de los efluentes de minas de explotación de carbón, determinando un efecto mutagénico en el pez *Oryzias latipes*, empleando carbones tipo lignita –procedente de Australia– y bituminoso –de Indonesia– (Andaro & Banko).

En consecuencia, las variaciones en la composición física y en las propiedades químicas del carbón no quemado hacen que sus potenciales efectos negativos aún no sean claramente comprendidos, dejando sin resolver la incógnita sobre el riesgo que representa en los ambientes acuáticos y concretamente sobre los peces. Frente a la escasez de estudios enfocados a evaluar los efectos tóxicos de carbón y sus posibles contaminantes en los peces, se propuso años atrás la realización de una investigación que permitiera avanzar en este conocimiento ante la evidente biodisponibilidad de este mineral en aguas del Caribe de Colombia.



La investigación en esta temática inició en la región con el trabajo de Franco Herrera *et al.* (2011), quienes evidenciaron la presencia de carbón como parte del contenido estomacal y en los tejidos de algunas especies ícticas comerciales; no obstante ningún daño tisular fue detectado. Lo anterior posiblemente corrobora la naturaleza inerte del carbón explotado en Santa Marta (Franco Herrera *et al.*, 2011) y hace necesario evaluar la incidencia del carbón en modelos fisiológicos de amplia aplicabilidad empleando técnicas de laboratorio en ensayos de toxicidad bajo condiciones controladas que permitan brindar bases sólidas en estudios de impacto ambiental global del carbón a partir del conocimiento de sus efectos específicos.

En este sentido el grupo de investigación “Dinámica y Manejo de Ecosistemas Marino Costeros”, DIMARCO, actualmente categorizado en el nivel B del Instituto Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, COLCIENCIAS, fomenta, a través del Doctorado Interinstitucional en Ciencias del Mar, una tesis doctoral enfocada en evaluar, a partir de experimentos controlados en laboratorio, los efectos físicos (mecánicos) y fisiológicos (*e.g.* sobrevivencia, tasa de crecimiento, comportamiento, desarrollo reproductivo) de un pez marino de importancia comercial, a partir de pruebas de toxicidad aguda y crónica, para de esta forma tratar de dilucidar si el carbón que se exporta por las costas del Caribe centro colombiano es realmente inerte, como se ha considerado preliminarmente (Grijalba, 2012). Se espera, con este tipo de investigación, fomentar, a través de la academia, proyectos y

programas de investigación que ayuden a resolver problemáticas ambientales asociadas por el desarrollo económico del país y que tienen como hábitat natural la zona costera y las comunidades marinas allí existentes.

Referencias

AGUDELO, R. (1993). *Estudios sobre algunos efectos del carbón mineral sobre el medio marino*. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia.

AHRENS, M. & MORRISEY, D. J. (2005). Biological effects of unburnt coal in the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 43, 69-122.

ALONSO, D., & PINEDA, P. (1997). *Bioacumulación y biomagnificación de mercurio en dos especies ícticas de diferente nivel trófico en la bahía de Cartagena y en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano*. (Trabajo de grado Biología Marina). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales, Santa Marta.

ALONSO, D., PINEDA, P., OLIVERO, J., GONZÁLEZ, H. & CAMPOS, N. (2000). Mercury levels in muscle of two fish species and sediments from the Cartagena Bay and the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Environmental Pollution*, 109, 157-163.

BERNHARDT, R. (2008). *The effects of perchlorate exposure on a model vertebrate species: The threespine stickleback*. Department of Biological Sciences, University of Alaska. Estados Unidos, sp.

BERNHARDT, R., VONHIPPEL, F. & CRESKO, W. (2006). Perchlorate induces hermaphroditism in Threespine Sticklebacks. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(8), 2087-2096.

BORTONE, S. & DAVIS, Y.W. (1994). Fish intersexuality as indicator of environmental stress. *Bioscience Mar*, 44(3), 165-172.

CAMPOS, N. (1987). Determinación de metales pesados en *Isognomon bicolor* en la bahía de Santa Marta, Colombia. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras*, (17), 155-162.

CAMPOS, N. (1990). Los metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Caldasia*, 16(77), 231-244.

CARLSON, R.M., OYLER, A.R., GERHART, E.H., CAPLE, R., WELCH, K.J., KOPPERMAN, H.L., BODENNER, D. & SWANSON, D. (1979). *Implications to the aquatic environment of polynuclear aromatic hydrocarbons liberated from Great Plains coal*. Duluth, U.S.: United States Environmental Protection Agency Report No. EPA-600/3-79-093.

FRANCO HERRERA, A., GRIJALBA BENDECK, M., IBAÑEZ, J. P. & DAZA, J. N. (2011). *Carbón, clima, playas y peces. El caso de la zona costera del departamento del Magdalena*. Bogotá: Editorial Imageprinting Ltda.

FORMAN, R., SPERLING, D., BISSONETE, J., CLEVINGER, A., CUTSHALL, C. & DALE, V. (2003). *Road Ecology*. London: Island Press.

GERHART, E. H., LIUKKONEN, R. J., CARLSON, R. M., STOKES, G. N., LUKASEWYCZ, M. T. & OYLER, A. R. (1981). Histological effects and bioaccumulation potential of coal particulate-bound phenanthrene in the fathead minnow *Pimephales promelas*. *Environmental Pollution Series A* 25, 165-180.

- GESTO RODRÍGUEZ, M. (2008). *Efectos a nivel neuroendocrino de la exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos en la trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)*, Universidad de Vigo, España. sp.
- GRIJALBA BENDECK, L. M. (2012). Unburnt coal effects on fish: A new approach (Anteproyecto de Tesis de Doctorado en Ciencias del Mar). Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta.
- HERNÁNDEZ, J. & GONZÁLEZ, H. (1993). Metales pesados en la bahía de Manatí, Cuba. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras*, 22, 60-68.
- HUMPHRIES, E. M., DUEDALL, I. W. & JORDAN, S. J. (1983). Coal-waste blocks as a fouling substrate in estuarine water. *Wastes in the Oceano*, 614-622.
- HOLLIS, L., BURNISON, K. & PLAYLE, R. (1996). Does the age of metal-dissolved organic carbon complexes influence binding of metals to fish gills? *Aquatic Toxicology*, 35, 253-264.
- INVEVAR (1988). *Diagnóstico actual de las comunidades marinas de la Bahía de Portete, análisis de efectos reales por la construcción y operación de las instalaciones portuarias*. Instituto de Investigaciones Marinas Punta Betín (Invemar), Santa Marta, Informe final. sp.
- INVEVAR (1992). *Descripción inicial de unidades de monitoreo de ecosistemas marinos en la Bahía de Portete. Determinación del área de influencia de Puerto Bolívar afuera de la Bahía de Portete*. Instituto de Investigaciones Marinas Punta Betín (Invemar), Santa Marta, Informe técnico. sp.
- INVEVAR (2001). *Impacto del polvillo de carbón en la salud humana, los materiales y ecosistemas marino-costeros*. Informe técnico. Santa Marta.
- INVEVAR (2002). *Informe ambiental preliminar del hundimiento de la barcaza "Caribe-217" cargada con carbón en el puerto de Santa Marta, Abril 11 del 2002*. Informe técnico. Santa Marta.
- JOHNSON RESTREPO, B., OLIVERO VERBEL, J., LU, S., GUETTE FERNÁNDEZ, J., BALDIRIS AVILA, R., O'BYRNE HOYOS, I., ALDOUS, K. M., ADDINK, R. & KANNAN, K. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons and their hydroxylated metabolites in fish bile and sediments from coastal waters of Colombia. *Environmental Pollution*, 151, 452-459.
- KANNAN, K., CORSOLINI, S., FALANDYSZ, J., FILLMANN, G., KUMAR, K. S., LOGANATHAN, B. G., MOHD, M. A., OLIVERO, J., VAN WOUWE, N., YANG, J. H. & ALDOUS, K. M. (2004). Perfluorooctane sulfonate and related fluorochemicals in human blood from several countries. *Environmental Science and Technology*, 38, 4489-4495
- KAVANAGH, R., BALCH, G., KIPARISSIS, Y., NIIMI, A., SHERRY, J., TINSON, C. & METCALFE, C. (2004). Endocrine disruption and altered gonadal development in White Perch (*Morone americana*) from the Lower Great Lakes Region. *Environmental Health Perspectives*, 112(8), 898-902.
- LEÓN, G., PÉREZ, L. E., LINARES, J. C., HARTMANN, A. & QUINTANA, M. (2007). Genotoxic effects in wild rodents (*Rattus rattus* and *Mus musculus*) in an open coal mining area. *Mutation Research*, 630, 42-49.
- MARRUGO NEGRETE, J., OLIVERO VERBEL, J., LANS CEBALLOS, E. & NORBERTO BENITEZ, L. (2008). Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia. *Environmental Geochemistry and Health*, 30, 21-30.
- NAKAJIMA, T., HASEGAWA, H., TAKANASHI, H. & OHKI, A. (2010). *Ecotoxicity of effluents from hydrothermal treatment process for low-rank coal*. Department of Chemistry,

Biotechnology, and Chemical Engineering, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima, Japan.

OLIVERO, J., JOHNSON, B. & ARGÜELLO, E. (2002). Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America). *The Science of the Total Environment*, 289, 41-47.

OLIVERO VERBEL, J., BALDIRIS AVILA, R. & ARROYO SALGADO, B. (2005). Nematode infection in *Mugil incilis* (Lisa) from Cartagena Bay and Totumo Marsh, north of Colombia. *The Journal of Parasitology*, 91, 1109-1112.

OLIVERO VERBEL, J., BALDIRIS AVILA, R., GÜETTE FERNÁNDEZ, J., BENAVIDES ALVAREZ, A., MERCADO CAMARGO, J. & ARROYO SALGADO, B. (2006a). *Contracaecum sp. infection in Hoplias malabaricus* (moncholo) from rivers and marshes of Colombia. *Veterinary Parasitology*, 140, 90-97.

OLIVERO VERBEL, J., TAO, L., JOHNSON RESTREPO, B., GÜETTE-FERNÁNDEZ, J., BALDIRIS AVILA, R., O'BYRNE HOYOS, I. & KANNAN, K. (2006b). Perfluorooctane sulfonate and related fluorochemicals in biological samples from the north coast of Colombia. *Environmental Pollution*, 142, 367-372.

OLIVERO VERBEL, J., JOHNSON RESTREPO, B., BALDIRIS AVILA, R., GÜETTE FERNÁNDEZ, J., MAGALLANES CARREAZO, E., VANEGAS RAMÍREZ, L. & KUNIHICO, N. (2008). Human and crab exposure to mercury in the Caribbean coastal shoreline of Colombia: Impact from an abandoned chlor-alkali plant. *Environmental International*, 34, 476-482.

OLIVERO VERBEL, J., CABALLERO GALLARDO, K. & ARROYO SALGADO, B. (2011). Nematode infection in fish from Cartagena Bay, North of Colombia. *Veterinary of Parasitology*, 177, 119-126.

PARRA, Y., ESTEVES, I., ESCOBAR, M., PORTILLO, E. & ROJAS, J. (2008). Study of Maracaibo Lake water-coal interaction. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Zulia*, 31.

PARDO, S., MEJÍA, K., NAVARRO, Y. & ATENCIO, V. (2007). Prevalencia abundancia de *Contracaecum sp.* en rubio *Salminus affinis* en el río Sinú y San Jorge: Descripción morfológica. *Revista MVZ Córdoba*, 12, 887-896.

STOKER, P. W., LARSEN, J. R., BOOTH, G. M. & LEE, M. L. (1985). Pathology of gill and liver tissues from two genera of fishes exposed to two coal-derived materials. *Journal of Fish Biology*, 27, 31-46.

WOODHEAD, P. J. & PARKER, J. H. (1983). Biological compatibility of a coal-waste block reef in the ocean. *Wastes in the ocean*, 558-571.

WOODHEAD, P. J. & JACOBSON, M. E. (1983). Biological colonization of a coal waste artificial reef. *Wastes in the ocean*, 598-612.

► El carbón es uno de los más antiguos contaminantes de ambientes marinos y estuarinos.

