

Crisis ambientalista: revisión sistemática de la remoción de Cr (VI) por bioadsorbentes en aguas residuales industriales

Dora Luz Gómez Aguilar¹

RESUMEN

En el presente artículo se propone una revisión de doce artículos científicos publicados en las bases de datos Science Direct, Ebsco-Greenfile, EBSCOhots y REDIB, desde el año 2007-2016, acerca del tema de bioadsorbentes que remueven Cromo hexavalente proveniente de agua residuales industriales, debido a la problemática ambiental generada por los vertimientos de las industrias que emplean en sus procesos este contaminante inorgánico y que afectan las aguas, suelos y organismos vivos. Estos artículos, se agruparon bajo dos categorías: Bioadsorbentes no modificados provenientes de cáscaras y semillas de frutas como: plátano, mango y mamey. Bioadsorbentes de cáscaras y semillas de frutas modificadas: Tamarindo, coco, mangostán, plátano y *Aegle marmelos*. Para cada bioadsorbente, se determinaron los parámetros óptimos de pH, temperatura, cantidad de biomasa, agitación y tiempo de contacto para obtener la mayor eficiencia de éstos en la remoción. Por último, en siete artículos se realizó un estudio de la cinética de reacción con el fin de establecer los posibles modelos que se ajustaban al comportamiento de los bioadsorbentes.

Palabras clave: Bioadsorbentes, Tecnologías Limpias, Contaminación, Aguas Residuales Industriales, Cromo (VI).

Environmental crises: a systematic review of the removal of Cr (VI) by bioadsorbentes in industrial wastewater

ABSTRACT

This paper presents the revision of twelve scientific articles which have already been published in data bases like Science Direct, Ebsco-Greenfile, EBSCOhots y REDIB, from 2007-2016, on the topic of hexavalent chromium bio adsorbents coming from industrial wastewater, due to the environmental problems generated by the water discharge of industries that use in their processes this inorganic pollutant, affecting water, soil and living organisms. The articles were group under two categories: unmo-

Fecha de recepción: 18 de enero de 2016. Fecha de aceptación: 28 de enero de 2016

Modelo de citación:

GÓMEZ AGUILAR, Dora Luz. CRISIS AMBIENTALISTA: REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA REMOCIÓN DE Cr (VI) POR BIOADSORBENTES EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. Revista Asuntos Económicos y Administrativos No.30, primer semestre 2016. ISSN 0124-1133. Universidad de Manizales.

1 Docente de la Universidad Pedagógica Nacional Sede Bogotá (Colombia). Estudiante de Doctorado en Desarrollo Sostenible Universidad de Manizales. Calle 72 No.11-86 Universidad Pedagógica Nacional. Departamento de Química. Bogotá (Colombia). doralgomez@gmail.com

dified bio adsorbents coming from fruit peel and seeds such as banana, mango and mamme; bio adsorbents coming from modified fruits peels and seeds like: tamarind, coconut, mangosteens, banana and *Aegle marmelos*. The optimal parameters of pH, temperature, amount of biomass, agitation and contact time were determined to obtain the greatest efficiency in the removal. Finally, researches selected seven articles to carry out a study on the kinetics of reaction with the purpose of establishing the possible models that were fixed to the behavior of the bio adsorbents.

Keywords: Bio adsorbents, Clean Technologies, Contamination, Industrial wastewater, Chromium (VI).

Introducción

“Hacia finales de 1960 e inicios de 1970 la crisis ambiental se incorporó en la arena política, debido en parte a un conjunto de informes científicos que alertaron sobre el agotamiento de los recursos naturales, el riesgo ambiental creado por la misma humanidad, la extinción continua de especies etc., que pusieron en evidencia los grandes problemas ambientales de la época. Dicha crisis ambiental tuvo sus orígenes tanto en el incremento de la extracción de recursos naturales, como en la progresiva generación de residuos inherente al proceso productivo” (PIERRI 2005, citado en GÓMEZ 2014:123). “De tal modo, la preocupación por el ambiente por parte de políticos, científicos, académicos y grupos ecologistas se debió principalmente a la percepción sobre el agotamiento de los recursos naturales y al deterioro progresivo de la naturaleza resultante de los desechos del proceso productivo” (ARROYO, CAMARERO & VÁSQUEZ 1997, citado en GÓMEZ 2014:123).

Por esta razón, en el presente artículo se aborda una problemática ambiental referente a la contaminación generada por un metal pesado como es el Cr (VI). “Éste metal, es muy empleado en varios procesos industriales tales como: Refinerías de petróleo, pulpas de papel, textiles, metalúrgicas, químicos orgánicos e inorgánicos, curtiembres y galvanoplastia” (MANZOR et al. 2006; MOHAN & PITTMAN 2006; SIAL et al. 2006; CAVACO et al. 2007). “Pigmentos para pinturas, acero, cemento, vidrio, industrias farmacéuticas y conservación de madera” (NETZAHUATL-MUÑOZ et al. 2008:3). Cabe indicar, que la mayoría de estas industrias no realizan previamente la remoción de este contaminante inorgánico por las siguientes razones:

- Porque no presentan una planta de tratamiento planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) o empresa depuradora de aguas residuales (EDAR).
- Porque en uno de sus procesos de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) no está incluido la remoción del contaminante, solo se enfocan en reducir sólidos y materia orgánica (tratamiento primario y secundario).

- Porque tienen incluido el proceso de remoción del contaminante inorgánico (tratamiento terciario) pero presentan una baja eficiencia y un alto costo en su mantenimiento.
- Presentan una planta de tratamiento de aguas residuales (tratamiento terciario) eficiente que logra eficiencias superior al 80%, pero no 100%.

Con todo lo anterior, se plantea que de todos modos siempre habrá descargas del contaminante inorgánico en baja hasta una alta concentración del mismo. También cabe indicar, que dependiendo del caudal del agua superficial se observa en más grado que otro la contaminación de unas fuentes hídricas, afectando seriamente nuestro ecosistema. Es importante resaltar, que la mayoría de estas aguas superficiales "contaminadas" son utilizadas por la población como fuente de abastecimiento de plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) o empresa depuradora de agua potable (EDAP) y también para uso agrícola. "Por lo tanto, el Cr (VI) ocasiona una amenaza no sólo para la vida acuática, sino también a toda la cadena alimentaria, a lo largo de la cual se acumulan a una mayor concentración, y no se degradan por ningún método. La toxicidad de estos metales pesados se puede analizar desde diferentes puntos de vista: toxicidad a largo plazo; transformación a formas más tóxicas; biomagnificación, entre otras" (TEJADA et al. 2012:12).

En la mayoría de plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) a nivel mundial sólo se realizan tratamientos convencionales (coagulación, floculación, sedimentación y desinfección) para obtener un producto conocido como agua potable o agua de consumo humano (ACH). Con el tratamiento convencional, no se remueve el 100 % de los contaminantes inorgánicos, lo cual se evidencia en un artículo de revisión sistemática (OLLER & SANZ 2012:435). En esta publicación, se establece que la enfermedad que más se origina en jóvenes menores de 19 años es la aparición de diferentes tipos de cáncer debido a la presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos. En este caso, específicamente para Cromo en aguas de consumo humano aparecen citados tres artículos: INFANTE-RIVARD 2001, citado en OLLER & SANZ 2012:438; THOMPSON et al. 2010 y SEILER 2004 pero adicional al Cr se investigó paralelamente con otros contaminantes como: Plaguicidas, metales pesados (As, Cd, Pb, Zn, entre otros), Subproductos de Desinfección, ²²²Rn e Isótopos radioactivos de Uranio (alpha y beta). Los resultados de las investigaciones se presentaron entre los años 1980-1993, 1989-2001 y 1990 - 2002 en Estados Unidos y Canadá. En dos de las publicaciones, se concluyó que de 23000 habitantes se presentaron 16 casos de leucemia diagnosticada y de 3805745 habitantes se presentaron 3718 casos de cáncer infantil, seis cuencas hidrográficas se asociaron con mayor riesgo para astrocitoma. Una cuenca había aumentado el riesgo para

cáncer renal, en otra para leucemia y en una cuenca del sur de Texas hubo mayor riesgo de leucemias atípicas.

Ratificando lo anterior, el Cromo puede ingresar al cuerpo al inhalar aire, al ingerir alimentos o al beber agua contaminada con el metal. "La IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) ha clasificado el Cr (VI) en el grupo I (Carcinogénico es humanos)" (NETZAHUATL-MUÑOZ et al.2008:4).

Por esta razón, en este artículo se establece el uso de tecnologías limpias especialmente los bioadsorbentes para la remoción eficiente, económica, abundante y "amigable" con el medio ambiente (VOLESKY & HOLAN 1995 y VOLESKY 2007, citados en NETZAHUATL-MUÑOZ et al. 2008:4) del Cromo (VI) en el tratamiento de aguas residuales industriales. Por otro lado ARÉVALO (2016:19), afirma que es "esencial promover la aplicación de medidas de biorremediación (uso de plantas, algas, hongos y bacterias para restaurar ambientes contaminados) para evitar repercusiones en la salud pública".

Generalidades de los metales pesados

"Se definen como metales pesados aquellos elementos químicos que presentan elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g/cm³ cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalinotérreos), son tóxicos para la célula. Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor al 0,01%" (NAVARRO et al. 2007:1).

Existen referencias sobre el cromo; que indican que es un metal pesado (CHÁVEZ et al. 2007:33). "El cromo está presente en el medio ambiente con muchos estados de valencia como Cr (0), Cr (II) , Cr (III) y Cr (VI) , pero las especies de Cr (III) y Cr (VI) son importantes, ya que, el Cr (VI) es 500 veces más tóxico que el Cr (III)" (LOUKIDOU, ZOUBOULIS, KARAPANTSIOS, MATIS, citados en KUMAR & MAJUMDER, 2014:663)

"El Cromo (VI) causa perforación de pulmón y carcinoma de seres humanos" (HAGGINS 1973, citado en KUMAR & MAJUMDER 2014:663). "Otros trastornos causados por la exposición a corto y largo plazo para este metal pesado es asma, irritación de la mucosa nasal, neumonitis, úlceras, dermatitis y tracto gastrointestinal, insuficiencia renal y hepática" (VOLESKY 2001 & KHATOON, ANWAR, HASSAN, FAROOQ, FATIMA & KHALID 2009, citados en KUMAR & MAJUMDER 2014:663)

En conclusión, "el Cromo hexavalente en particular es un desnaturizador de proteínas y precipitante de los ácidos nucleicos; además, es considerable la acción cancerígena de los cromatos sobre el pulmón y el aparato digestivo" (CHÁVEZ et al. 2007:33).

Bioadsorbentes

Bioadsorbentes no modificados que son utilizados para remover Cr (VI) en aguas

A continuación se citarán los bioadsorbentes no modificados provenientes de cascara o semillas de frutas que se han empleado para la remoción de Cr (VI). Estos se encuentran listados desde el año 2007 hasta 2016. En estos artículos, se especifica los posibles mecanismos de remoción, determinación de condiciones óptimas de cada bioadsorbente y estudios cinéticos de reacción.

Uso de la semilla de mango variedad haden para la remoción de cromo hexavalente de soluciones acuosas

(NETZAHUATL-MUÑOZ et al. 2008:3). La capa externa de la semilla de mango variedad Haden es capaz de remover cromo de soluciones acuosas mediante dos mecanismos: reducción química y biosorción.

Reducción de Cr (VI) y biosorción de cromo por la cascara de la semilla de mamey

(NETZAHUATL-MUÑOZ et al. 2008:91). Los resultados mostraron claramente que la cáscara de la semilla de mamey es capaz de remover el Cr (VI) presente en una solución acuosa, tanto por biosorción como por reducción

Evaluación de la cáscara del aguacate para la remoción de cromo hexavalente y cromo total de soluciones acuosas

(NETZAHUATL-MUÑOZ et al 2010:1). Se encontró que la cáscara del aguacate variedad Hass disminuyó rápidamente las concentraciones de Cr(VI) y cromo total en las primeras 24 h de contacto.

Bioadsorción de cromo (VI) por la cáscara de mamey (*mammea americana* L.)

(ACOSTA et al. 2012:1) En este trabajo, se analizó la capacidad de remoción de Cromo (VI) en solución por cáscara de mamey, determinando la concentración del metal por el método de la Difenilcarbazida, encontrando que la remoción total del metal (100 mg/L) ocurre a los 50 minutos, a pH de 1.0 y 28°C.

Potencial de cáscaras de plátano (*Musa sapientum* biomasa) la adsorción de Cr (VI): equilibrio y estudio cinético

(MURIUKI 2014:233). La eliminación de los iones de Cr (VI) a partir de soluciones acuosas se investigó en este estudio usando de cáscaras de plátano (*Musa sapientum* biomasa) como un material de bajo costo. Los modelos cinéticos demostraron que fue de pseudo-segundo -orden, modelos de isotermas de adsorción de Langmuir resultados también indican ($R^2 > 0,997$) y Freundlich ($R^2 > 0,988$).

Bioadsorbentes modificados que son utilizados para remover Cr (VI) en aguas

Biosorción de cromo hexavalente usando tamarindo (*tamarindus indica*) un estudio comparativo

(POPURI 2007: 358) La adsorción de cromo (VI) fue ensayada con el fruto de la cáscara de tamarindo crudo, HCl y el ácido oxálico. Los biosorbentes se caracterizaron por Infrarojo con Transformada de Fourier (FTIR), Espectrometría Fluorescente de Rayos X con Energía Dispersiva (EDXRF) y porosimetría. La cinética de reacción fue de primer orden isoterma de Langmuir y Freundlich.

Utilización de producto de desecho (semillas de tamarindo) para la eliminación de Cr (VI) a partir de soluciones acuosas: equilibrio, cinética y los estudios de regeneración

(GUPTA 2009:3013) En el presente estudio, se preparó un adsorbente a partir de las semillas de tamarindo y, luego de su activación, se utilizó para la remoción de Cr (VI) en soluciones acuosas. Las semillas fueron activadas tratándolas con ácido sulfúrico concentrado (98% m/m) a una temperatura de 150°C.. Las semillas de tamarindo regeneradas mostraron más del 95% de remoción de Cr (VI), obtenido usando semillas de tamarindo frescas activadas.

Remoción de Cr(VI) de soluciones acuosas empleando la cáscara de la fruta bael (*aegle marmelos correa*) como adsorbente

(ANANDKUMAR & MANDAL, 2009:633) En este estudio se prepara un nuevo y económico carbón activado a partir de la cáscara de la fruta de Bael, para la remoción de Cr(VI) de fases acuosas. La máxima remoción se encontró en un pH de 2.0 y un tiempo de equilibrio de 240 minutos. Los datos se ajustan al modelo de adsorción de Langmuir y de Freundlich. Los buenos poros obtenidos en el producto se lograron mediante la activación con ácido fosfórico.

Remoción de cromo hexavalente usando cáscara de coco y modificación de la cáscara a bajo costo

(GUPTA 2011:8) Se llevaron a cabo estudios para evaluar la eficacia comparativa de cáscara de coco activado y fibra de coco activado en la eliminación de cromo hexavalente tóxico de su solución sintética y curtidores efluentes industriales en modo batch. En aplicación de la cinética de adsorción, la adsorción de Cr (VI) por ACS y el CAC siguió el pseudo primer orden y segundo modelo de pseudo.

Bioadsorción de cromo (VI) por la cáscara del mangostán

(HUANG 2014:2485) En este estudio el potencial de un nuevo biosorbente obtenido a partir de cáscara de mangostán fue investigado por la eliminación de cromo hexavalente y el cromo trivalente de las soluciones acuosas. El biosorbente fue modificado mediante el uso de ácido sulfúrico concentrado.

La eliminación biológica del Cr (VI) a partir de aguas residuales sintético mediante el uso de la cáscara de plátano tratado (KUMAR & MAJUMDER 2014:662)

La eliminación de cromo hexavalente Cr (VI) mediante el uso de la cáscara del plátano tratada con ácido bajo diferentes condiciones experimentales se investigó en este estudio. El "tratado con ácido cáscara del plátano" 'se caracteriza por Espectroscopia de Difracción de Rayos X (EDX) y Microscopio Electrónico de Barrido por Campo de Emisión (FESEM). La cinética de sorción de Pseudo segundo presento el mejor comportamiento Freundlich.

Preparación de carbón activado microporoso a partir de la cáscara de la fruta *aegle marmelos* y su aplicación en la remoción de cromo (vi) de fases acuosas.

(GOTTIPATI & MISHRA, 2016:1) El carbón activado fue preparado desde el precursor a partir de la cáscara de una planta económica como *Aegle marmelos*, mediante la activación con ZnCl_2 . El producto final obtuvo un área superficial final de $1339 \text{ m}^2/\text{g}$ y un volumen de microporo de $0.48 \text{ cm}^3/\text{g}$. El equilibrio de adsorción es explicado por la isoterma de Freundlich y el proceso sigue una cinética de pseudo-orden dos. Este carbón activado mostró una mejor adsorción de Cr(VI).

Discusión

"La técnica analítica de cuantificación para Cr (VI) es la de difenilcarbazida y para Cromo Total es la Espectrofotometría de Absorción Atómica" (EGGS, 2012:141). Estas dos técnicas son muy importantes hacerlas paralelamente con cada bioadsorbente en el momento de la experimentación; ya que permite establecer el mecanismo de adsorción del bioadsorbente con respecto al contaminante, en estos casos la biosorción en dos de los doce artículos referenciados deducen que se produce una reducción química de Cr (VI) a Cr (III) (NETZAHUATL-MUÑOZ et al. 2008:3) y (NETZAHUATL-MUÑOZ et al. 2008:91). Mientras, se remueve el Cr (VI), se aumenta progresivamente el Cr (III).

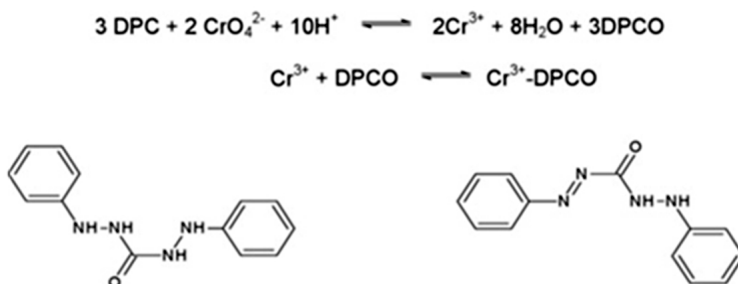


Figura 1. Reacción del Cromo hexavalente y la difenilcarbazida
(Mauria Llobat & Herráez 2010:61)

La primera de las publicaciones (POPURI 2007:358) relacionadas con bioadsorbentes (cáscaras y semillas) con frutas aparecieron en el 2007 en el cual se hicieron experimentaciones con muestra sin modificar y muestras modificadas con diferentes ácidos, para hacer que los bioadsorbentes mejoraran su eficiencia de retención con el contaminante. A la vez, es importante establecer que se involucran técnicas de análisis específicas para obtener una mayor información en la estructura química del bioadsorbente como Infrarojo con Transformada de Fourier FTIR, Espectrometría Fluorescente de Rayos X con Energía Dispersiva EDXRF, porosimetría, (POPURI 2007: 358) y la técnica de Microscopio Electrónico de Barrido por Campo de Emisión (FESEM), (KUMAR & MAJUMDER 2014:662)

Por otro lado, en el 2008 se involucraron nuevos bioadsorbentes como son las semillas tanto de mango (NETZAHUATL-MUÑOZ et al. 2008:3), la cáscara de la semilla de mamey (NETZAHUATL-MUÑOZ et al. 2008:91) y las semillas de tamarindo (GUPTA 2009:3013).

Pasaron 4 años desde 2008 a 2012 entre la investigación realizada desde la semilla del mamey hasta la cascara de mamey, es decir se emplearon dos bioadsorbentes de la misma especie con altos rendimientos.

Entre 2011 y 2016 aparecen nuevamente publicaciones con nuevos bioadsorbentes modificados entre la cascara de coco, mangostán, *Aegle marmelos* con diferentes ácidos (ácido sulfúrico, ácido oxálico, ácido fosfórico y ácido clorhídrico) planteado en anteriores publicaciones.

Conclusiones

Es muy importante, empezar a utilizar las investigaciones publicadas; ya que, se observa en la mayoría, que todas parten de un residuo sólido no aprovechable para el ser humano como son las cáscaras y semillas de frutas para ser utilizadas como bioadsorbentes en plantas de tratamiento de aguas residuales industriales (PTAR) para disminuir la concentración de Cr (VI) y evitar así el impacto ambiental que actualmente se está generado por las descargas de estas aguas a fuentes hídricas y suelos. Adicionalmente, que no sólo se quede en investigaciones sino que realmente se implementen en una sociedad.

Una importante conclusión, que se tiene en dos artículos científicos es el mecanismo de adsorción del Cr (VI) por los bioadsorbentes, se argumenta que se origina por reducción química de Cr (VI) a Cr (III); ya que, la biomasa contaminada podría ser empleada en suelos solamente, si se neutraliza ésta; ya que, el pH óptimo de todas los ensayos se realizan en condiciones ácidas en intervalos de 1 a 3.

Estas biomásas neutralizadas y con Cr (III) se podrían utilizar como compostaje en suelos. Siendo, la especie de Cr (III) menos tóxica para los organismos vivos y podría ser rentable para las industrias por que disminuyen el impacto ambiental por el Cr (VI), a bajo costo y amigable para el medio ambiente.

Sería muy importante establecer un solo ensayo con cáscaras y/o semillas sin modificar de varias frutas, para identificar quien es la que más retiene el contaminante y realizar su respectiva caracterización química con las técnicas instrumentales específicas, para que luego, se estandarice su proceso en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), ya que, sí se hace modificación de éstas con ácidos, sería más costoso para las industrias y es muy probable, que bajo estas condiciones las empresas si los introduzcan en una de las etapas de tratamiento.

Recomendaciones.

Faltaría realizar más ensayos con diferentes especies del mismo género (mango, aguacate, etc.) los cuales permitirán conocer las especies que son más eficientes entre el género.

Bibliografía

- ACOSTA I., BAUTISTA D., CÁRDENAS J., HERNÁNDEZ N., MARTÍNEZ V., & SANDOVAL P., 2012, Bioadsorción de Cromo (VI) por la Cáscara de Mamey, *Avances en ciencias e ingeniería* vol 3, no.2:1-9.
- ARÉVALO H., 2016, Metales pesados contaminan pastos, *Periódico de la Universidad Nacional de Colombia*, no.196:18-19.
- CAVACO S, FERNANDES S., QUINA M., & FERREIRA L., 2007, Removal of chromium from electroplating industry effluents by ion exchange resins, *Journal of Hazardous Materials*, vol 144, no. 3:634-638.
- CHÁVEZ M., LUJÁN M., OTINIANO M., ROBLES H. & TUESTA L., 2007, Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas* sp y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium cepa*, *Revista Médica Vallejana*, vol 4, no.1: 32-42.
- EGGS N., SLAVAREZZA S., AZARIO R., FERNÁNDEZ N., & GARCÍA M., 2012, Adsorción de Cromo Hexavalente en la Cáscara de Arroz Modificada Químicamente, *Avances en Ciencias e Ingeniería* vol 3, no.3:141-151.
- GÓMEZ J., 2014, Del Desarrollo sostenible a la sustentabilidad ambiental, *Rev. Fac. Cienc. Económico* vol 22, no.1: 115-136.
- GUPTA A., REENA Y., & PARMILA D., 2011, Removal of hexavalent chromium using activated coconut shell and activated coconut coir as low cost adsorbent, *Department of Environmental Science & Engineering* vol 2, no.3:8-12.
- GUPTA S., 2009, Utilization of waste product (tamarind seeds) for the removal of Cr (VI) from aqueous solutions: Equilibrium, kinetics, and regeneration studies- *Journal of Environmental Management Journal of Environmental Management* vol90, no.1: 3013-3022.
- HUANG K., XIU Y., & ZHU H., 2015, Removal of hexavalent chromium from aqueous solution by crosslinked mangosteen peel biosorbent, *International Journal of Environment, Science and Technology* vol 12:2485-2492.

- KUMAR M., MAJUMDER C. B., 2014, Biological removal of Chromium (VI) from syntethic waste water by using "Acid Treated Banana Peel", *Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences* vol 5, no.3: 662-679.
- MANZOOR S., MUNIR H., SHAH N., KHALIQUE A., & JAFFAR M., 2006, Multivariate analysis of trace metals in textile effluents in relation to soil and groundwater, *Journal of Hazardous Materials*, vol 137, no. 1:31-37.
- MAURI A., LLOBAT M., & HERRÁEZ R., 2010, *Laboratorio de análisis instrumental*, Editorial de la Universidad de Valencia, Valencia, 303 págs
- MOHAN D., & PITTMAN C., 2006, Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water, *Journal of Hazardous Materials*, vol 137, no. 2:762-811.
- MURIUKI C., MUTWIWA U., & HOME P., 2014, Potential of banana peels (*musa sapientum* biomass) in adsorption of hexavalent chromium: equilibrium and kinetic study, *International Water Technology Journal* vol 4, no.4: 233-244.
- NAVARRO J., AGUILAR I., & LÓPEZ J., 2007, Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas, *Ecosistemas* vol 16, no.2:1-23.
- NETZAHUATL M., CRISTIANI URBINA M., & CRISTIANI URBINA E., 2008, Reducción de Cr(VI) y biosorción de Cromo por las cáscara de la semilla de Mamey, *Revista Cubana de Química* vol 20, no.2:3-9.
- NETZAHUATL M., CRISTIANI URBINA M., & CRISTIANI URBINA E., 2008, Uso de la semilla de mango variedad Haden para la remoción de Cromo hexavalente de soluciones acuosas, *Revista Cubana de Química* vol 20, no.3: 91-98.
- NETZAHUATL-MUÑOZ A., PINEDA-CAMACHO G., BARRAGÁN-HUERTA B., CRISTIANI-URBINA E., 2010, Evaluación de la cáscara del aguacate para la remoción de cromo hexavalente y cromo total de soluciones acuosas, *Ciencias Químicas*, vol. 41, 2010, pp. 1-10.
- OLLER V., & SANZ J., 2012, Cáncer por contaminación química del agua de consumo humano en menores de 19 años: una revisión sistemática, *Revista Panamericana de Salud Pública* vol 32, no.6: 435-443
- POPURI S., JAMMALA A., SURESH K., & ABBURI K., 2007, Biosorption of hexavalent chromium using tamarind (*Tamarindus indica*) fruit shell-a comparative study, *Electronic Journal of Biotechnology* vol 10, no.3:358-367.
- SEILER R., 2004, Temporal Changes in Water Quality at a Childhood Leukemia Cluster, *GROUND WATER*, vol. 42, no. 3:446-455.
- SIAL R., CHAUDHARY M., ABBAS S., LATIF M., & KHAN A., Quality of effluents from Hattar Industrial Estate, *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, vol 7, no 12: 974-980.
- TEJADA C., VILLABONA Á., & RUIZ, V., 2012, Biomasa residual para remoción de mercurio y cadmio: una revisión, *Ingenium*, vol 6, no.14:11-21.
- THOMPSON J., CAROZZA S., BISSET W., & ZHU L., 2010, Risks of childhood cancer among Texas watersheds, based on mothers' living locations at the time of birth, *Journal of Water and Health*, vol. 8, no. 1:139-146.

Referentes y discusiones sobre la ética ambiental*

Diana Sofía Serna Giraldo¹

Ciro Alfonso Serna Mendoza²

RESUMEN

La ética ambiental implica claramente una redefinición de la crítica tradicional. Se puede definir la ética ambiental como: la reflexión racional y práctica sobre los problemas derivados de la relación del hombre con la naturaleza. En el estudio de la ética ambiental, se plantean problemas internacionales, intergeneracionales e interespecíficos.

Además, se presentan diferentes corrientes éticas, como: el antropocentrismo, ecocentrismo, la ética de la tierra, la ecología profunda y el ecofeminismo.

En cuanto al análisis ambiental, éste se hace en diferentes períodos y con diferentes enfoques, destacando las soluciones socialistas y capitalistas como respuesta internacional al control de las emisiones de gases tóxicos, etc.

Palabras clave: Ética ambiental, ecocentrismo, hombre-naturaleza.

Referents and discussions on environmental ethics

ABSTRACT

Environmental ethics clearly implies a redefinition of the traditional criticism.

You can be defined as environmental ethics: rational and practical approach to the problems of man's relationship with nature.

In the study of environmental ethics, international, intergenerational and interspecies problems arise.

In addition, different ethical currents are presented as anthropocentrism, ecocentrism, the land ethic, deep ecology and ecofeminism.

As for the environmental analysis, this is done at different times and with different approaches, highlighting the socialist and capitalist solutions and international response to the control of emissions of toxic gases, etc.

Keywords: Environmental Ethics, ecocentrism, man and nature.

Fecha de recepción: 19 de enero de 2016. Fecha de aceptación: 2 de febrero de 2016

Modelo de citación:

SERNA GIRALDO, Diana Sofía. SERNA MENDOZA, Ciro Alfonso. REFERENTES Y DISCUSIONES SOBRE LA ETICA AMBIENTAL. Revista Asuntos Económicos y Administrativos No.30, primer semestre 2016. ISSN 0124-1133. Universidad de Manizales.

1 Abogada. Universidad de Manizales.

2 Ec., Esp., Mg., Dr., Posdoctor. Director Programa de Doctorado en Desarrollo Sostenible. Universidad de Manizales, Colombia. Email: redesomciro@hotmail.com

* Ponencia presentada al Primer Simposio Polaco-Colombiano "La sustentabilidad como vanguardia de Nuevas Ideas sobre el Desarrollo o la crisis del Paradigma Ambientalista."

Instituto de Estudios Regionales y Globales. Facultad de Geografía y Estudios Regionales, Universidad de Varsovia, Polonia, 22,23 y 24 de septiembre del 2016.

Se podría definir la ética ambiental como la reflexión racional y práctica sobre los problemas derivados de la relación del hombre con la naturaleza. Partiendo de esta definición cabe destacar dos aspectos propios de la ética ambiental: En primer lugar, se debe considerar que la ética ambiental implica claramente una redefinición de la ética, ya que tradicionalmente, la ética se ocupa de valores y normas del ser humano. La pregunta por la felicidad o por la justicia estaba circunscrita a la acción del hombre en su relación con otros hombres. Pensar que en la naturaleza puedan haber valores morales o plantearse la posibilidad de establecer normas en la relación entre el hombre y el resto de los seres vivos, supera claramente los límites propios de la ética tradicional.

La ética era un asunto humano claramente delimitado, y no podía concebirse que hubiera problemas morales derivados de nuestra relación con la naturaleza. Por lo tanto, y ésta es una de las notas definitorias de la ética ambiental, el concepto mismo de la ética, su objeto y muchos de sus conceptos tradicionales, deben ser repensados para amoldarse a las exigencias de los nuevos problemas planteados.

En segundo lugar, y como consecuencia de lo anterior, se plantea, necesariamente, el tipo de relación del ser humano con otros seres vivos y con la naturaleza general. Se redescubre así un nuevo espacio de codificación moral: los seres vivos, los ecosistemas, la naturaleza. La división tradicional entre el sujeto moral y el mundo comienza a derribarse, de modo que las acciones y decisiones de los seres humanos, respecto a la naturaleza, pueden recibir una evaluación moral.

Desde la aparición de la ética ambiental, la reflexión no se puede desarrollar de un modo aislado y conceptual, sino que es necesario fijarse en las relaciones del hombre y su medio. Los conceptos tradicionales de la moral necesitan adaptarse a las particularidades de la ética ambiental.

Problemas específicos de la ética ambiental

- Problemas internacionales: Son aquellos que se plantean en las relaciones entre diferentes naciones. Los problemas de la ética ambiental nos obligan a transferir, gestionar y distribuir riesgos, pues las consecuencias de un comportamiento irresponsable de un solo país, pueden ser fatales para todo el planeta. Los países se han quedado pequeños para resolver los problemas ambientales, y la responsabilidad y eficacia son asunto de todos.

- Problemas intergeneracionales: Son aquellos en los cuales los intereses de una generación pueden entrar en conflicto con las próximas, e inclusive poner en peligro la existencia de éstas.

Parece que todos tenemos conciencia que el planeta debe ser legado a las generaciones futuras en las mejores condiciones. Sin

embargo, esto puede ir en detrimento del desarrollo tecnológico y económico de las generaciones presentes. Es necesario buscar un fundamento para las responsabilidades frente a las generaciones futuras.

Hans Jonas, ha formulado el principio de responsabilidad en los siguientes términos: "obra de tal manera que no pongas en peligro las condiciones de continuidad indefinida de la humanidad en la tierra". Este es un imperativo categórico al estilo kantiano.

- Problemas interespecíficos: Son aquellos que afectan a la relación del hombre con otras especies y con la biosfera en su conjunto, es decir, con los seres vivos no humanos.

Es necesaria una teoría del valor que reconozca valor objetivo a los seres vivos, que permita una cierta gradualidad, y que no rompa la igualdad entre los seres humanos.

Corrientes éticas más importantes

Las siguientes son las corrientes éticas más importantes:

- Antropocentrismo fuerte. Otorga al ser humano un puesto especial dentro de la naturaleza, concediéndole mayor valor que el resto de la naturaleza.

- Ecocentrismo. No sólo deben recibir consideración moral los seres vivos, sino también los ecosistemas, el agua, el aire, a los que Lawrence E. Johnson atribuye intereses.

- La ética de la tierra. El ser humano debe respetar en su comportamiento el equilibrio existente dentro de la naturaleza entre los seres vivos.

- Ecología profunda. Centra su atención en la interrelación existente entre las diferentes partes de la naturaleza; lo importante no son los seres vivos en sí, sino las relaciones que entre ellos se establecen. Aspira a crear una nueva cultura respetuosa con la naturaleza y que se extienda a la ciencia, la tecnología, el derecho, la política y la moral.

- El ecofeminismo. Parte de una identidad esencial que asocia el antropocentrismo al androcentrismo.

La explotación y el dominio de la naturaleza serían actitudes propias de varones, de su forma de relacionarse con los demás.

El varón se impone a la naturaleza de la misma forma que ha venido haciéndolo sobre la mujer. Invertir la superioridad de los varones sobre las mujeres, tendrá otras consecuencias positivas, que mejorarán la relaciones del ser humano con la naturaleza.

- Ética ambiental de inspiración aristotélica. Basada en la prudencia aristotélica, establece que se debe combinar la conservación

de la naturaleza con el progreso y el desarrollo de la ciencia y la tecnología, lo cual nos conduciría al desarrollo saludable.

Probablemente, la transformación cultural más importante para el logro de la sustentabilidad en el siglo XXI sea el surgimiento de acción humana que armonice los aspectos éticos, económicos y ecológicos, centrándolos en una vocación de solidaridad comunitaria (Dal y Cobb, 1994).

El desarrollo de una ética ambiental puede ser deseable, pero difícilmente cambiará la naturaleza humana básica.

América Latina: mundialización y modelo de desarrollo versus naturaleza

La relación del hombre con la naturaleza ha variado a través de la historia de las diferentes culturas, pero la sociedad humana, en casi todos los casos, se ha caracterizado por ser depredadora de otras especies y contaminadora impulsiva (Iturraspe, 1996). En muchas de las culturas americanas anteriores al “descubrimiento”, esta relación, estaba basada en un esquema armónico, en el cual la identificación con la tierra era parte fundamental, no sólo de la cosmovisión sino de una productiva, que lejos de considerar a la naturaleza como “un recurso” a usar y abusar, era socializada.

La primera mundialización (posterior a los descubrimientos) trajo consigo la depredación de los “recursos naturales” y la ideología de la reducción de la naturaleza como recurso a explotar.

La economía extractiva de la primera mundialización trajo la esclavitud de los negros del África. La segunda mundialización permitió a los jóvenes republicanos incorporarse al mercado mundial como exportadores de las materias primas que requería el proceso de industrialización de Europa y los Estados Unidos.

El esquema de desarrollo “endógeno” da lugar, en algunos de nuestros países, a una rápida “urbanización”, a un importante crecimiento de la población y al intento de construcción de economías basadas en el mercado interno y en el proteccionismo, que permite, muchas veces, una industrialización sin límites ecológicos.

Este modelo entra en crisis y es reemplazado por un nuevo esquema neoliberal, que implica una fuerte expansión del comercio mundial, sobre todo, en los países desarrollados,

Una notable concentración de los monopolios transnacionales y una aguda dependencia financiera, una nueva y profunda revolución tecnológica, una ruptura de espacios nacionales en el plano comunicacional, cultural, jurídico y político y la imposición de un modelo societal mundial, sobre todo, después de la caída del muro de Berlín, aparece con la pretensión de único.

La lógica del mercado se está profundizando en América Latina, desencadenando profundas transformaciones culturales y políticas. La mayor parte del análisis de estos fenómenos se han enfocado a aspectos macroeconómicos, como por ejemplo: el déficit fiscal, la inflación, la privatización de empresas públicas y la reducción de las políticas sociales.

Crisis de la relación sociedad-naturaleza

El derecho penetrado por la ideología del progreso indefinido y por el auge del progreso económico toma los conceptos jurídicos romanos, los codifica o los jurisprudencializa, para que la naturaleza y todos sus reinos (animal, vegetal y mineral) sean una “res” (cosa, objeto) y la relación del hombre-propietario con ellos. El sacrosanto derecho de propiedad permite abusar y degradar la naturaleza como eje de todo el sistema jurídico articulador de los intereses sociales hegemónicos. La mundialización o globalización ha agravado, en los últimos años, la crisis ambiental y social, debido a tres procesos paralelos o interconectados: el predominio en todo el planeta de un modelo de desarrollo basado en explotación irracional de los recursos naturales y en la generalización de un consumo desbordado; el crecimiento demográfico, la aparición de megalópolis y destrucción innecesaria de ecosistemas enteros y de tierras cultivables; y el desarrollo tecnológico desenfrenado.

Reflexiones finales

En la actualidad, se considera que la conservación de un medio ambiente sano es una prioridad a nivel local, regional, nacional e internacional, y no es ajeno al desarrollo rural. Desde el siglo XVIII, se mostró interés por aspectos relacionados con la naturaleza (medición), que fueron la base de la valoración en los desarrollos posteriores de los temas ambientales.

Después, algunos naturalistas, como Linneo, empezaron a contemplar la posibilidad de utilizar el orden material para satisfacer las necesidades. Para los fisiócratas la clase agrícola fue la clase productiva por excelencia; luego con David Ricardo y Say, surge la concepción de bienes libres, que según ellos, por su condición de ser riquezas naturales, de carácter inagotable, tales como el aire, el agua, la luz del sol, carecen de valor real. Esto hizo que en la teoría económica no se incluyera el análisis de los recursos naturales, tanto renovables como no renovables.

Tomás Malthus, aportó su visión pesimista, al plantear la imposibilidad de satisfacer las necesidades alimentarias de la población para el futuro, dado que la población crecía en progresión geométri-

ca, mientras que la producción de alimentos lo hacía en progresión aritmética. El destino de la humanidad sería su posible desaparición.

Marx, en su concepción filosófica del materialismo dialéctico, no considera a la naturaleza como conglomerado causal de objetos y fenómenos desligados y aislados unos de otros, y sin ninguna relación de dependencia entre sí, sino como un todo articulado y técnico, en que los objetos y los fenómenos se hallan orgánicamente vinculados, dependen y se condicionan mutuamente.

Cualquier fenómeno de la naturaleza o de la sociedad puede ser comprendido y explicado si se examina su condición indisoluble con los fenómenos circundantes y con las contradicciones que los rodean y los condicionan.

En la segunda década del siglo XX, Pigou, propuso la existencia de deseconomías externas, luego llamadas externalidades, que surgían de la actividad económica con efectos negativos, a lo que Marshall entendió como economías externas, lo que derivó, luego, en el interés por estimar los costos sociales del uso de los recursos de la naturaleza.

En 1960, Ronald Coase, planteó que el sistema de libre empresa llevaría incuestionablemente a internalizar las externalidades económicas; según él, el mejor mecanismo para resolver la problemática ambiental era por medio de sistema de propiedad de los recursos y la asignación de precios de mercado a los mismos, lo cual llevaría obtener el óptimo económico.

Esta concepción de teoría económica es opuesta a la propuesta Meadows, en 1972, a través del llamado "Club de Roma" que en su libro "los límites del crecimiento" expresaba la posibilidad de un crecimiento estacionario para no degradar los productos del entorno, fenómeno económico y social que dejaba a los países más pobres y atrasados sin posibilidad de crecimiento y desarrollo económico. Su única alternativa, era seguir la vía de los países más desarrollados (con su secuela de contaminación y degradación ambiental). Se consideraba que los límites físicos del crecimiento, eran un problema de magnitud que afectaba la sustentación del sistema de la capacidad de carga del globo terráqueo. Los límites eran físicos, no económicos, para el desarrollo del crecimiento de los seres humanos, o sea, que los límites físicos eran un impedimento para instaurar una sociedad global.

Lo que canaliza la especie humana para las actividades económicas recibe el nombre de "transflujo". Se plantean, entonces, dos posturas diferentes: la conservacionista, que consiste en ahorrar recursos con el propósito de consumo futuro, y la preservacionista, que permite utilizar recursos ahora, pero tratando de mantener un ambiente sano.

De todas maneras, la problemática ambiental siguió manteniendo un desconocimiento desconcertante, que implica la explotación de

los recursos por encima de la capacidad de carga de los ecosistemas (toda la población crece hasta que se enfrenta con condiciones que no permiten nuevos crecimientos netos), lo cual derivó en el desequilibrio y la desestabilización de los ecosistemas, la pérdida de la fertilidad de los suelos y la baja en la productividad, inducidos por las contradicciones básicas del capital.

La actividad económica inadecuada de los países desarrollados, su excesivo uso de la energía y generación de desperdicios nocivos, da como resultado la problemática ambiental actual: desertificación de amplias zonas del orbe, destrucción del entorno, presencia de lluvias ácidas, destrucción de la capa de ozono, calentamiento térmico del planeta y graves desórdenes meteorológicos, entre otros. En la década de los setentas, del siglo pasado, la discusión de los temas ambientales fue marcada por la conferencia de Estocolmo (1972). Fue la primera a nivel mundial, en donde se analizaron los temas ambientales. En ese momento se reiteraba, que la población había alcanzado su capacidad de carga.

Las principales discusiones se centraban en las necesidades de control de la contaminación ambiental, principalmente del agua y del aire. Allí surgieron los movimientos ambientales y las empresas privadas con estos propósitos (ONG's), y en el desarrollo de la teoría económica, se inicia la discusión de la economía ambiental y de la economía de los recursos naturales.

La economía ambiental, se ha preocupado de estudiar los problemas de la contaminación que reducen la disponibilidad futura de los recursos, derivados de los desequilibrios causados a los ecosistemas (los cuales puede ser reversibles o no) y la modificación del "hábitat" de las especies, y, a nivel político, sobre la forma cómo se toman las decisiones sobre el uso de recursos valiosos. En síntesis, se refiere al estudio de problemas ambientales.

Entre los efectos estudiados a escala mundial, se encuentran los desequilibrios climáticos (calentamiento de la tierra), la contaminación del aire, la perturbación de los mares y los recursos hídricos, la pérdida de la biodiversidad, tanto de la flora como de la fauna, y el agotamiento de las fuentes de energía, entre otros fenómenos, que a su vez, inciden negativamente en el desempeño laboral, y por ende, económico.

La economía de los recursos naturales, estudia la explotación de dichos recursos, con el fin de privilegiar su óptima utilización y evitar su degradación. Aplicando la metodología de los recursos, en varios países, se inició la medición del impacto sobre la agricultura, producción forestal, animal y piscícola, sobre las especies silvestres, la minería (con la extracción y quema de combustibles fósiles), las tierras incorporadas por el crecimiento de las ciudades y desarrollo del sector de servicios en las mismas, llegando al conocimiento

de que se estaba dando mal uso de los recursos naturales, una acumulación infinita de desperdicios y una confirmación de la crisis ambiental descrita anteriormente; uno de los indicadores analizados fue la huella ecológica, que permite medir el nivel de desarrollo de los países, a partir del impacto de los ecosistemas y su posibilidad de mantenimiento en el tiempo, obteniéndose como resultado que en muchos países se había superado la capacidad de generación de los recursos de la tierra.

Este fenómeno dio origen a la discusión sobre la capacidad de cambio de los ecosistemas, ya que la escasez de recursos y los problemas derivados del mal uso del medio ambiente, implicaban que uno o varios recursos imprescindibles estaban en grave peligro, lo cual determinaba que la población se enfrentaría en el futuro a situaciones que no permitirían nuevos crecimientos netos, y por tal razón, era indispensable un conocimiento de los ecosistemas, para entender hasta qué punto, la incorporación de recursos a la producción afectaría negativamente su equilibrio y potencial utilización posterior. Se habla de la sustentabilidad, que privilegia el stock de capital para que no disminuya (capital natural y capital hecho por el hombre).

Para quienes pregonan la sustentabilidad fuerte, lo importante es procurar el mantenimiento del capital natural, de manera independiente del capital hecho por el hombre (medios de producción generados), puesto que la extinción de las especies y el agotamiento de los recursos se debe a la acción antrópica, ejemplo: las máximas capturas de ballenas, cuyo límite de capacidad de cambio determina la posible erosión genética de esta especie.

A su vez, en las décadas de los setentas y ochentas, ante los problemas observados en los países socialistas, se instrumentaron las concepciones psicológicas neomarxistas, basadas en la sustentabilidad productiva de los recursos del entorno, donde se proponía la instauración de una nueva política de desarrollo.

La escuela de la economía ecológica reconstruiría el materialismo histórico aplicado a resolver la problemática ambiental, efectuando la ruptura epistemológica con los planteamientos de la economía capitalista.

Economía ecológica es una transdisciplina que reconoce límites ecológicos al crecimiento económico y se fundamenta en un enfoque de sistemas integrados y en la síntesis de múltiples disciplinas, y se encarga de investigar y manejar el problema de la sustentabilidad.

Conclusiones

La ética ambiental se define como la reflexión racional y práctica de la relación del hombre con la naturaleza. En la actualidad se considera que la conservación de un ambiente sano es una prioridad

a nivel local, regional, nacional e internacional, y no es ajena al desarrollo rural. La supervivencia de las generaciones futuras está condicionada a la protección del medio ambiente.

Bibliografía

- ANGEL, Augusto. Perspectiva pedagógica en la educación ambiental. Bogotá: Tercer mundo Editores, 1991.
- ARNAL, Mariano. Medio. En: El Almanaque Año III No. 887. 9 de Junio de 2001.
- BATESON, Gregory. Una unidad sagrada. Barcelona: Gedisa, 1993.
- BELLVER CAPELA, Vicente. Sociedad y Medio Ambiente. Madrid: Trotta, 2000.
- BILBERNY, Aproximación a la ética. Planeta colombiana Editorial, S.A., Bogotá: 1992.
- BOCHENSKI, J.M. Introducción al pensamiento filosófico. Barcelona: Herder, 1960.
- BRAUDEL, FERNAND. Civilization Matérielle, économie et capitalisme. Xve-XIIIIE Siécie, Armand Colin, Paris, 1979.
- CALDERÓN RIVERA, Mario. Verdades sabidas. La Patria, Manizales, Sección Opinión, p. 5ª, viernes 13 de abril de 2007.
- CANUT, Prats, José Miguel. La Protección Penal del Medio Ambiente. Madrid, 1990.