

Perspectivas

en asuntos ambientales

Revista Profesional
de la Escuela de
Asuntos Ambientales

volumen 4 – 2015



En esta edición

Encíclica del cambio climático Laudato Si'

Las mujeres, la justicia socioambiental y el cambio climático

Consideraciones sobre el calentamiento global

El cambio climático y las enfermedades infecciosas

Contaminación por material particulado, estrés oxidativo e inflamación

El rol de los servicios de los ecosistemas en la mitigación de riesgos naturales derivados del cambio climático

A review of Raman Lidar techniques for atmospheric monitoring at Howard University, Beltsville campus



Perspectivas

en asuntos ambientales

UMET | UNIVERSIDAD
METROPOLITANA
SISTEMA UNIVERSITARIO
ANA G. MÉNDEZ

La revista *Perspectivas en Asuntos Ambientales* (PAA) es un organismo informativo de la Escuela de Asuntos Ambientales (EAA) de la Universidad Metropolitana en el que estudiantes, profesores y colaboradores diseminan sus trabajos relacionados con el tema ambiental. Publicamos trabajos originales producto de tesis, tesinas y proyectos de planificación ambiental, así como evaluaciones de programas implantados e investigaciones de profesores que aborden los asuntos ambientales. También incluye ensayos de opinión o perspectivas sobre los asuntos ambientales. Estos componentes enmarcan la tónica de lo que en principio será la función de la revista como instrumento de difusión y foro de discusión.

La EAA aporta hacia la capacitación de profesionales, el desarrollo de la conciencia ambiental y la solución de problemas ambientales que enfrenta nuestra sociedad a través de sus componentes académicos, investigativos y proyectos de impacto comunitario y educación profesional. Incluye los programas graduados de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental, Maestría en Planificación Ambiental y Maestría en Artes en Estudios Ambientales. Además, contamos con centros de adiestramiento especializado, certificados profesionales e investigación como el Instituto de Educación Ambiental, Atlantic OSHA Training Center, el Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable, el Laboratorio de Química, Ambiental y Toxicología Molecular, Estación de Investigación Las Cucharillas, y el Instituto de Fotónica de Puerto Rico.

PAA (ISSN 2167-4752 impreso; ISSN 2167-6828 en línea) se publica anualmente. Para los detalles en los gráficos y fotos, favor de remitirse al documento en PDF en línea en nuestra página: <http://www.suagm.edu/umet/perspectivas/index.asp>. Las instrucciones para autores que desean someter artículos se encuentran publicadas en la página 107 de esta edición y también están disponibles en línea bajo la misma dirección electrónica. Dirija su correspondencia a través del correo electrónico perspectivasaa@suagm.edu.

The Journal of Environmental Affairs Perspectives (JEAP) is an annual professional open access online (ISSN 2167-6828) and printed (ISSN 2167-4752) journal published by the School of Environmental Affairs of Universidad Metropolitana in Puerto Rico. For submission requirements of manuscripts, please refer to the page 106 in this issue or go to <http://www.suagm.edu/umet/perspectivas/index.asp>. JEAP aims to disseminate research-based knowledge on current environmental matters, the application of theories to environmental practices, and environmental education.

The mission of the School of Environmental Affairs is to develop professionals who are competitively equipped to address the environmental challenges of the 21st Century, support and promote scientific applied research to search for sustainable environmental solutions, and establish meaningful links with communities to work together towards the sustainability of our environmental resources.

JEAP publishes original papers, review papers, critical essays, planning projects, program evaluations, technical notes, case studies, and book reviews. Research papers may be focused on any of the following fields: environmental sciences, environmental planning, environmental education, climatology, water resources, coastal and marine management, biodiversity, forestry, environmental & occupational epidemiology, toxicology, and green chemistry.

ISSN 2167-4752 (Impreso)

ISSN 2167-6828 (En línea)

COMITÉ EDITORIAL

María Calixta Ortiz, MSEM, Ph.D., Editora en Jefe

José Orlando García, MP, PPL, ABD

Christian Vélez, MSEM

Carlos R. Morales, MSEM

Ivette Torres Negrón, Ph.D.

Lourdes Febres, MSEM

Jonathan Friedman, Ph.D.

CONSEJO ASESOR

Carlos M. Padín Bibiloni, Ph.D., Director

José Gómez Galán, Ph.D.

Yvonne Guadalupe, MAC

Alex Rodríguez, MBA

Juan C. Musa, Ph.D.

Molly A. Hardigree Cancel, MTS

Universidad Metropolitana
PO Box 21150, San Juan, PR 00928

Volumen 4, 2015

Formato para citar artículos en esta revista:

Apellidos, I. I. (2015). Título del artículo. *Perspectivas en Asuntos Ambientales*, 4(1), 1-107.



Foto portada

Vista aérea de la Isla Palominos e Islote Palominitos

© Alvin José Toro

Descargo de responsabilidad

La EAA no se responsabiliza por la precisión de hechos y opiniones aquí presentadas o por omisiones en la utilización de fuentes primarias en el contenido de los artículos de los autores que colaboraron en esta edición. El lector debe hacer su propia evaluación en términos de cuán apropiado es el contenido y los métodos utilizados.

Diseño gráfico

Colaboración de Benito Pinto Rodríguez • editor@laregatapr.com

Impresión

Ha sido posible gracias a fondos institucionales de la Universidad Metropolitana del Sistema Universitario Ana G. Méndez

Derechos de Autor 2015. Sistema Universitario Ana G. Méndez. Prohibida la reproducción total o parcial de los textos y fotografías incluidos en la revista, sin previa autorización de sus autores y la EAA.

CONTENIDO TEMÁTICO

Editorial

Cambio climático 2015.....7

María Calixta Ortiz, MSEM, Ph.D., Editora en Jefe

Ensayo reflexivo

Encíclica del cambio climático Laudato Si'. Cuidado de nuestra casa común ...10

Hna. Lissette A. Avilés-Ríos, OP, MATP

Ensayos críticos

Las mujeres, la justicia socioambiental y el cambio climático14

Roxanna Domenech-Cruz, Ph.D.

Consideraciones en cuanto al calentamiento global.....25

Máximo Cerame-Vivas, Ph.D.

Ensayos programáticos

El proyecto de la realidad climática35

María A. Juncos-Gautier, MSEM

Modelo de enseñanza en cambio climático y calidad de aire en escuelas públicas
de Puerto Rico42

María Calixta Ortiz, MSEM, Ph.D & Carlos Morales-Agrinzoni, MSEM

Revisiones de literatura

El cambio climático y las enfermedades infecciosas.....47

Christian Vélez-Gerena, MSEM

Contaminación por material particulado, estrés oxidativo e inflamación58

Rosa I. Rodríguez-Cotto, Ph.D.

Artículos originales

El rol de los servicios de los ecosistemas en la mitigación de riesgos naturales derivados del cambio climático: una perspectiva de evaluación desde la sostenibilidad ecológica66

Marisela González-Rivera, Ph.D.(c) & Antonio Gómez-Sal, Ph.D.

Relación entre la incidencia de conjuntivitis alérgica y el material particulado ..80

Alex Javier Soto-Vega, MSEM, María Calixta Ortiz, MSEM, Ph.D., & Hilda Bithorn, OD

A review of Raman Lidar techniques for atmospheric monitoring at Howard University, Beltsville campus.....89

Demetrius D. Venable, Ph.D.

CAMBIO CLIMÁTICO 2015

María Calixta Ortiz, MSEM, Ph.D.¹

Editora en Jefe

Todo parece indicar que el 2015 será catalogado como el año cuando todas las alarmas del cambio climático mostraron evidencias claras de que ya no hay vuelta atrás. Así lo enfatizó el escritor Eric Holthaus, destacado meteorólogo y ex columnista del Wall Street Journal, en su artículo *The Point of no Return: Climate Change Nightmares are Already Here* en la revista Rolling Stone en la edición de agosto de 2015.

Durante este año, más de un evento ha puesto de manifiesto los efectos de la variabilidad climática en todas partes del planeta. Una ola de calor cobró cientos de vidas en India y Pakistán. En el estado de California experimentan la sequía del milenio. En Puerto Rico hemos sido testigos de las altas temperaturas y los eventos de sequía que han traído consigo el racionamiento de agua potable y las pérdidas en la agricultura. Parte de la población estuvo bajo un estricto racionamiento de agua durante los meses de junio a septiembre, el cual dejó sin agua a los residentes hasta por tres días en algunos municipios, y que por primera vez el gobierno impuso multas al ciudadano por el uso indebido de tan preciado líquido. Como contraste de este panorama, en el oeste de la Isla, experimentaron lluvias extremas y pérdidas por inundaciones. Los datos del nivel mar tomados por la Administración Nacional de la Atmósfera y el Espacio, tanto en el sector de La Parguera como en el municipio de San Juan, reflejan un aumento. Este aumento tiene efectos en la erosión de las costas, así como el impacto sobre el ambiente construido, lo que supone una presión sobre la actividad turística en Puerto Rico. Muchos de los eventos de este año surgieron como consecuencia del fenómeno climático El Niño en el océano Pacífico tropical, el cual también ha cambiado los patrones climáticos en otras partes del mundo.

En el 2015 también, hemos visto acciones más concretas por parte de los dos líderes mundiales más influyentes, quienes han puesto en función sus planes de acción sobre cambio climático. Aunque el presidente Barack Obama anunció en el 2013 el plan de acción para limitar la emisión de gases de efecto invernadero, no ha sido hasta este año que vemos los inicios de su implantación. Entre las iniciativas propuestas, cada estado tendrá asignado un objetivo de reducción de emisiones y deberá enviar una propuesta a la Agencia de Protección Ambiental sobre las acciones que tomarán para cumplirlo. Con esto, se espera reducir las emisiones de las centrales termoeléctricas en un 32% para 2030, respecto a los niveles que se generaron en el 2005.

¹ Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, 787-766-1717. Email: um_mortiz@suagm.edu

Por su parte, el Papa Francisco, comisionó el documento de la Encíclica para el cambio climático como un llamado a la Iglesia para proponerle cinco formas de cambiar hábitos y tendencias negativas en sus vidas. Entre estas se destacan el compromiso social en pequeñas acciones cotidianas como evitar el uso del material plástico y de papel, reducir el consumo de agua, separar los residuos, cocinar sólo lo que se va a comer, respetar los seres vivos, utilizar transporte público o compartir un mismo vehículo, plantar árboles, y apagar las luces innecesarias. Otra importante acción es la eliminación del consumismo compulsivo. Ese que arropa nuestro país y al mundo del “tener” porque “necesito esto y aquello” y “no sentir satisfacción” con nada de los bienes que se obtienen, para luego almacenar sin necesidad de uso futuro que lo convierte en un objeto de obsolescencia que luego termina en el vertedero.

En diciembre del 2015, se firmó la Convención Marco sobre el Cambio Climático en París. El acuerdo de 195 países se alcanzó tras seis años de preparación y dos semanas de debate. Cada país que ratifique el acuerdo debe presentar un programa o plan nacional para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en conformidad con la mejor evidencia científica disponible.

La cuarta edición de la revista *Perspectivas en Asuntos Ambientales* está dedicada a tratar el tema de cambio climático, principalmente desde la perspectiva local. En ella se exponen la perspectiva del género y el cambio climático, reflexiones sobre la encíclica del Papa Francisco, el calentamiento global, la implantación del proyecto de Realidad Climática de Al Gore en Puerto Rico, revisiones de literatura sobre el rol de los ecosistemas ante el cambio climático, el cambio climático y el impacto en la salud, así como un estudio original de la relación del particulado y su relación con la conjuntivitis alérgica y el uso de aplicaciones Lidar para la toma de datos meteorológicos.

Es momento de trabajar acciones concretas hacia la adaptación del cambio ante la variabilidad del clima en cada región. Urge que cada entidad responsable haga lo suyo. Nosotros como entidad docente, ampliamos el currículo en los tópicos de cambio climático y el impacto a la salud, así como la adaptación a estos cambios. Hemos aumentado los esfuerzos en obtener fondos externos que trabajen el cambio climático y que podamos diseminar más el conocimiento basado en evidencia. La Universidad Metropolitana se ha afiliado a la American Meteorological Society para utilizar material educativo que amplíe la evidencia a la que tenemos acceso. Nuestros estudiantes y maestros trabajan en un modelo de enseñanza para difundir estos tópicos a estudiantes de nivel intermedio en las escuelas públicas del país. Así también, y por primera vez, estudiantes de nuestros programas de maestría trabajan el tema de cambio climático como tema de investigación como requisito final de grado. Es nuestra responsabilidad y la de todos los sectores.

Referencias

- Agencia EFE. (2 de julio de 2015). *Amplian el racionamiento agua Puerto Rico que afecta más de 425, 000 abonados*. Retrieved from <http://www.holaciudad.com/amplian-el-racionamiento-agua-puerto-rico-que-afecta-mas-425000-abonados-n605115>
- Associated Press. (2015, June 25). *Caribbean faces its worst drought in five years*. Retrieved from <http://www.weather.com/climate-weather/drought/news/caribbean-worst-drought-five-years-impacts>
- Associated Press. (2015, May 13). *Puerto Rico imposes water rations that could make daily showers a challenge*. Retrieved from <http://www.theguardian.com/world/2015/may/13/puerto-rico-water-rationing-san-juan-el-nino>
- Halthaus, E. (2015, August 5). The point of no return: Climate change nightmares are already here. *Rolling Stone magazine*. Retrieved from <http://www.rollingstone.com/politics/news/the-point-of-no-return-climate-change-nightmares-are-already-here-20150805>
- KQED Science. (2015). *Drought watch 2015*. Retrieved from <http://ww2.kqed.org/science/series/california-drought-watch/>
- Libreria Editrice Vaticana. (2015). *Carta encíclica Laudato Si' del Santo Padre Francisco sobre el cuidado de la casa común*. Retrieved from http://m.vatican.va/content/francescomobile/es/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html#&cui-state=dialog
- Méndez-Lázaro, P., Martínez-Sánchez, O., Méndez-Tejeda, R., Rodríguez, E., Morales, E., & Schmitt-Cortijo, N. (2015). Extreme heat events in San Juan Puerto Rico: Trends and variability of unusual hot weather and its possible effects on ecology and society. *Journal of Climatology Weather Forecasting*, 3,135. doi:10.4172/2332-2594.1000135
- Miskus, D. (2015). *National drought summary*. Retrieved from <http://droughtmonitor.unl.edu/Home/Narrative.aspx>
- Whiteman, H. (2015, June 2). India heat wave kills 2,330 people as millions wait for rain. *Cable News Network (CNN)*. Retrieved from <http://edition.cnn.com/2015/06/01/asia/india-heat-wave-deaths/>

CARTA ENCÍCLICA: LAUDATO SI' CUIDADO DE NUESTRA CASA COMÚN

Hna. Lissette A. Avilés-Ríos, OP, MATP¹

Recibido 14 de octubre de 2015; aceptado 15 de noviembre 2015

Resumen – La bióloga marina y teóloga pastoral expone un resumen de la encíclica del Papa Francisco, Laudato Si, sobre las consideraciones que debe tener los creyentes y no creyentes con el cuidado del Planeta o casa común. La carta expone nueve ejes de reflexión considerando el método Ver, Juzgar y Actuar con el objetivo de exhortar y animar a un cambio de estilo de vida y labrar un futuro que tome en cuenta una ecología integral. Es importante dialogar sobre ciencia y fe, economía y ciencia, política y sociedad, cultura y ciencia para lograr la ecología integral.

Palabras clave: Encíclica, Papa Francisco, cambio climático, estilo de vida, consumismo

Abstract – A marine biologist and pastoral theologian presents a summary of Laudato Si, the encyclical of Pope Francis on the considerations that believers and non-believers must have regarding taking care for the planet or Our Common Home. The letter sets out nine axis of thought reflecting on the See, Judge, Act method in order to exhort and encourage lifestyle changes and the creation of a future that takes into account a comprehensive ecology. Dialogues on science and faith, economy and science, politics and society, and culture and science are important to achieve a holistic ecology.

Key words: Encyclical, Pope Francis, climate change, lifestyle change, consumerism

El 25 de mayo de 2015, el Papa Francisco publicó su carta circular o carta encíclica Laudato Si', que se traduce en alabado seas. La misma está dirigida, como es de esperarse, a los obispos y todo creyente que pertenezca a la Iglesia Católica, pero en esta ocasión la ha extendido a toda persona de buena voluntad. La tan anhelada encíclica se le ha dado a conocer cómo la Encíclica Verde o Ecológica. Esto porque, aunque otros pontífices, avalados por la doctrina social de la Iglesia, han aportado sobre este tema, no es menos cierto, que el lenguaje, el análisis y las propuestas, evidencian que estamos ante un hombre que ha logrado que la fe y la ciencia caminen o al menos dialoguen sobre el bien común.

En este documento, el Sumo Pontífice habla del planeta Tierra como “Nuestra Hermana” e invita a reconocerla como la “casa común” de la cual deben cuidar los creyentes y no creyentes. Resalta, el que esta casa común clama por los abusos y daños que el ser humano, a lo largo de la historia, ha cometido contra ella, de hecho lo expresa del siguiente modo: “La tierra, nuestra casa, parece convertirse cada vez más en un inmenso depósito de porquería” (Ibid #21).

¹ Congregación Hermanas Dominicanas de la Santa Cruz, Cataño, PR 00962.
Email: lissieop99@hotmail.com

El método que utiliza para exhortar y animar a un cambio de estilo de vida y labrar un futuro que tome en cuenta una ecología integral con el método Ver, Juzgar y Actuar. Dicho método busca abordar o hacer una lectura de la realidad, desde todos los aspectos y no solo en lo espiritual y moral; luego se analiza a la luz del Evangelio y los documentos de la Iglesia, para finalmente proponer acciones concretas.

El Papa hace un llamado urgente al desafío de proteger nuestra casa común desde un desarrollo sostenible e integral; a un nuevo diálogo, desde diversos sectores, sobre cómo construir nuestro futuro; el reconocer que el problema no es solo de los grandes intereses económicos sino por la falta de interés del ciudadano; y que se necesita la implicación de todos: creyentes o no creyentes, científicos, gobiernos, economistas y técnicos, entre otros.

Propuso nueve ejes de reflexión, desde los cuales, el obispo de Roma — modo en que el Papa Francisco insiste que se le reconozca, ya que quien ostenta el servicio de ser Papa, es en realidad el obispo a cargo de la diócesis de Roma y la diócesis principal de la Iglesia Católica— expresa sus preocupaciones, inquietudes y esperanzas. Las mismas son:

Los pobres y la fragilidad del planeta – del modo en que se trata a los pobres o empobrecidos es del mismo modo que se trata a nuestro planeta. Es decir, a los y las pobres no se les toma en cuenta y ocurre lo mismo con el manejo y uso de los recursos naturales. Los abusos habituales a los que es sometido el planeta es el mismo trato que se le da a las personas de escasos recursos y que están a merced de los grandes intereses. Como resalta el Papa en el numeral 49: “...no podemos dejar de reconocer que un verdadero planteo ecológico se convierte siempre en un planteo social, que debe integrar la justicia en las discusiones sobre el ambiente, para escuchar tanto el clamor de la tierra como el clamor de los pobres”.

Convicción de mundo en conexión – el Papa Francisco reconoce y anima a que descubramos la interconexión de la criatura más simple con el resto de la creación. Enfatiza, que el ser humano al alterar algún ecosistema afecta directa o indirectamente todos los demás. Que la desaparición de una especie, aun no conocida nos afecta a todos.

Nuevo paradigma y formas del poder tecno – aquí resalta el paradigma de la tecnocracia; es decir, que la tecnología ha tenido tanta fuerza y poder que los gobiernos no se rigen ya por ideales de búsqueda del bien común (política) sino por lo que dicte la tecnología. El valor e importancia del desarrollo tecnológico a lo largo de la historia de la humanidad, es vital, pero preocupa cuando los avances no tienen parámetros, no tienen una moral que les indique límites cuando en aras

de avanzar se afecte el planeta y la humanidad. Esto representa un gran reto para las universidades en particular los institutos, cuando se acentúa el culminar carreras técnicas de forma rápida sin brindar unos criterios de vida.

Otros modos de economía – economía que sea autosustentable, que tome en consideración los recursos y que respete los procesos de los mismos. Buscar una manera más eficiente de lograr producir la energía eléctrica haciendo uso del sol, del viento, pero que también se logre reconociendo el valor la dignidad del ser humano.

Valor de cada criatura – el cántico que inspira el documento, es un reconocer el valor de cada criatura por ser producto de Dios, y cuando habla el Papa de las criaturas, no solo se refiere al ser humano sino a toda planta, animal grande o pequeño. Lanza el reto de verlos también como nuestro prójimo y al verle afectado por los abusos que se cometen poder tomar conciencia, una dolorosa conciencia que nos permita hacerlo nuestro y que nos mueva hacer cambios (Ibid #19).

Sentido humano de la ecología – el término ecología se ha limitado, en ocasiones, al estudio de las relaciones de los seres vivos, rara vez se piensa en el ser humano, y su medio ambiente. La invitación es a que se incluya al ser humano cuando se hable del medio ambiente porque está implicado y hasta interpenetrado. Al realizar los impactos que el ser humano tiene ante la creación se vea también que personas se han beneficiado (podríamos decir unos pocos) y quienes se han visto afectados (sin duda podemos decir la mayoría, en particular, los más desventajados, los que no cuentan).

Sinceridad en los debates – esto no es otra cosa que el lograr sentarnos a la mesa del diálogo sin agendas ocultas. Que se sea capaz de hablar, de discutir y de buscar alternativas no solo los/as representantes de las ciencias, sino también políticos, economistas, religiones, cultura y todo aquel que pueda aportar porque, seamos creyentes o no todos nos vemos afectados e implicados.

Responsabilidad de la política internacional y local – en este aspecto, el Papa cree en la necesidad de que cada gobierno aporte desde su realidad y que asuma los daños, pero que se comprometan a cambiar para lograr un futuro. Reconoce también, que hay países que tienen mayor responsabilidad en el cómo han dañado y contaminado nuestros recursos. Ellos han de asumir sus culpas y buscar los medios para repararlo, para esto reconoce la necesidad de una autoridad internacional que tenga las garras o la capacidad de denunciar y aplicar las reglas. También resalta el que los países pequeños o pobres tienen la responsabilidad de velar por sus recursos y buscar los medios de superar la corrupción que evita una sana ecología.

Cultura del descarte y nuevo estilo de vida – hemos sido influenciados por el estilo de vida del consumo desmedido y que nos mueve a tomar y descartar de modo automático. Para superar esto, se nos recomienda el buscar los medios desde la educación, el diálogo, la espiritualidad que nos brinden un nuevo estilo de vida. Estilo que parta del respeto de cada criatura y que nos permita buscar lo que es esencial en la vida. Que los avances tecnológicos busquen ayudar a ser mejores ciudadanos capaces de ser solidarios no solamente con otros seres humanos sino con la creación.

Reflexión final

Tenemos, desde esta propuesta que el Papa Francisco nos propone, la oportunidad de dialogar: ciencia y fe, economía y ciencia, política y sociedad, cultura y ciencia... para lograr un mundo mejor no solo desde la economía y la técnica, sino desde la ecología integral. Creo que nos urge sentarnos y buscar nuevas formas de hacerlo mejor para nosotros y para toda la creación.

Referencia

Librería Editrice Vaticana. (2015). *Carta encíclica Laudato Si'. Cuidado de nuestra casa común*. Recuperado de http://m.vatican.va/content/francescomobile/es/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html#&cui-state=dialog

LAS MUJERES, LA JUSTICIA SOCIOAMBIENTAL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO: UN HOMENAJE A HAYDÉE COLÓN CARDONA

Roxanna Domenech Cruz, Ph.D.¹

Recibido 15 de junio de 2015; aceptado 14 de septiembre 2015

Resumen – Este ensayo crítico pretende resumir algunos diálogos sostenidos con Haydée Colón, una activista socioambiental de la Comisión de Ciudadanos al Rescate de Caimito en Puerto Rico, y hacer una reflexión sobre el rol de las mujeres, la justicia socioambiental y el cambio climático.

Palabras clave: Rol de las mujeres, justicia socioambiental, líderes comunitarios, desarrollo, quebrada Chiclana

Abstract – This critical essay aims to summarize conversations with Haydée Colón, a socio-environmental activist from the Citizens' Commission to Rescue Caimito in Puerto Rico, and to reflect on the role of women, social and environmental justice, and climate change.

Key words: Women role, social and environmental justice, community leaders, development, Chiclana

“A women’s rights and gender intersectional analysis is essential to urban governance as it is to discussions, analysis, policies and actions on cities and climate change... Women and children (who are usually cared for by women), constitute the majority in many cities ... Furthermore, the majority of the elderly in many cities are women”
(Dankhelman 2010, p. 82).

Introducción

Como parte de mi investigación doctoral, me dedicaba a analizar el rol de las mujeres en las luchas ambientales de Puerto Rico; me interesaba ver qué reclamos medioambientales hacían las mujeres, cómo organizaban sus comunidades y cómo experimentaban su activismo desde una perspectiva de género. Comencé a entrevistar a diferentes mujeres activistas desde el 2005 y ya me había percatado que la mayoría de las luchas ambientales en la Isla no solo estaban lideradas por mujeres, sino que eran estas mismas mujeres las que se encargaban de compartir el conocimiento adquirido a través de los procesos de sus luchas con sus comunidades.

En el verano del 2008, tuve la oportunidad de entrevistar a Haydée Colón Cardona, incansable defensora de la justicia social y ambiental de Puerto Rico y quien lamentablemente falleció a principios de febrero del 2015. En nuestra

¹ Escuela de Ciencias Sociales, Humanidades y Comunicaciones, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928. Email: rdomench1@suagm.edu

entrevista, Colón Cardona comentó cómo desde el 1992 la Comisión de Ciudadanos al Rescate de Caimito se había mantenido en pie de lucha en contra de compañías desarrolladoras que amenazaban la comunidad y sus recursos naturales. Haydée, y la Comisión, llevaron a los desarrolladores de Montehiedra a los tribunales luego de que éstos rellenaran la quebrada La Chiclana, lo cual afectó el curso el cuerpo de agua, los ecosistemas que dependían de ésta, y puso en riesgo de inundaciones a los vecinos del área.

La comunidad de Caimito ganó el caso, un caso histórico en la Isla que otros grupos ambientalistas valoran y utilizan como ejemplo, pues lograron que la compañía desarrolladora restaurara la quebrada y su curso. Además, lograron que le designaran un número de cuerdas de terreno para el uso de la comunidad, al igual que una moratoria de otros proyectos de construcción que estaban planificados en el área.

Este ensayo crítico pretende resumir algunos diálogos sostenidos con Haydée Colón, activista de la Comisión de Ciudadanos al Rescate de Caimito y hacer una reflexión del rol de las mujeres, la justicia socioambiental y el cambio climático.



Haydée Colón Cardona regando los arbustos que la comunidad de Caimito sembró luego de que la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico les cortara su bosque símbolo de “Caimito Reverdece”. © Roxanna Domenech

Análisis de entrevistas con Haydée Colón

Durante nuestra entrevista, Haydée nos mostró un mapa de Caimito para ilustrar lo ocurrido en la zona y dijo:

Allí, en Montehiedra, donde está Reliable, se supone que era para la comunidad y ellos lo ocuparon con un edificio, nosotros le dijimos, “Ah, sí... ¿qué te queda [refiriéndose a cuántas cuerdas de terreno quedaban sin desarrollar]? 2.7 cuerdas que me deben”. Yo soy bien chavona, ellos prometieron que le iban a dejar 2.7 cuerdas a la comunidad. Les dije [a los desarrolladores], “¿qué te queda? [Simuló señalar en un mapa del área], pues ese predio es de nosotros”. Ese predio tenía 3.8 cuerdas. Nosotros le dijimos al gobierno que sólo podía pagar 1.1 cuerdas (o millones? esta cifra no puede representar la cabida del terreno) porque ellos [los desarrolladores] pidieron 14 millones [de dólares] por el predio. Primero empezaron 1 punto algo [millones], 3 punto algo, 7 punto algo, y 14 punto algo. Yo le decía a la gente, “¡No le pregunten más, porque cada vez me aumentan! ¡No le pregunten cuánto es que valen [las cuerdas]!” Pero ellos no lo han podido desarrollar, porque nosotros nos oponemos, así es que son 15 años de oposición, desde el 1992. (H. Colón, comunicación personal, 18 de junio, de 2008)

En Puerto Rico, al igual que en otros países del mundo, se ha observado a las mujeres, y en particular las mujeres pobres, ejerciendo un rol principal dentro de las luchas ambientales. Marya Muñoz Vázquez escribió sobre el rol de las mujeres en las luchas ambientales de la Isla en su trabajo titulado *Poor Urban Women: Improving Health and the Working Environment*. Trabajo que Muñoz Vázquez presentó en el International Symposium/Workshop, NGO Forum, UNCED, en Río de Janeiro, Brasil el 8 de junio de 1992. Muñoz Vázquez planteó lo siguiente: “*Women have led at least one-fourth of the environmental struggles in Puerto Rico in the past years*” (p. 8). La contribución de las mujeres como líderes y organizadoras ha sido valiosa, pero no equivale a que las relaciones entre los géneros en nuestra Isla sea una equitativa, de modo que esa aportación se reconozca dentro de las luchas ambientales del país y dentro de los planes para enfrentar y mitigar el cambio climático. Casi 20 años más tarde, Irene Dankhelman hizo un reclamo al que Muñoz Vázquez se uniría. En la introducción del libro *Gender and Climate Change* (2010) Dankhelman sostuvo lo siguiente:

There are cases from which it becomes clear that women have been very effective in mobilizing communities to respond to disasters and in disaster preparedness and mitigation. Many women worldwide have ideas on how to mitigate and adapt to climate change, and they organize themselves in order to have their voices heard. Apart from local and regional movements of women dealing with environment and climate change, in recent years there has also been an increase in organizations active in the interface between gender equality and climate justice at a global level. (p. 14)

Por su parte, en su artículo *Ambiente Femenino: surgió el reclamo de una perspectiva de género en la discusión climática*, José Pérez Otero (13 de diciembre de 2007) nos alertó que: “El 70% de los pobres del mundo que viven en lugares vulnerables al cambio climático son mujeres”. En septiembre de 2007, la Organización de Mujeres para el Medio Ambiente y Desarrollo presentó en México la Declaración sobre Cambio Climático e Igualdad de Género. Dicha declaración sostiene lo siguiente:

Ya que el cambio climático afecta desproporcionadamente a las mujeres pobres, los gobiernos deberían analizar e identificar los impactos específicos de género y las medidas de protección relacionadas con inundaciones, olas de calor, enfermedades y otros cambios medioambientales y desastres. (2007, p. 1)

Según López Marrero & Villanueva Colón (2006), estudios científicos apuntan a los procesos de industrialización, deforestación y las altas emisiones de CO₂ generadas a causa de nuestros estilos de vidas como los culpables de los cambios climáticos que experimenta el país. Puerto Rico (junto a Martinica y Barbados) es la isla que genera la mayor cantidad de emisiones de CO₂. Aunque los cálculos exactos sean difíciles de estimar, nos unimos a este reclamo y a todos los estudios que reafirman que las mujeres son (y, de no haber transformaciones amplias, serán) las más afectadas. Ellas son las cuidadoras de las familias, y en muchos casos, el único sustento. A pesar de ello, esta discusión no ha sido prioridad a nivel global ni mucho menos al nivel local. Aunque la Procuraduría de la Mujer en Puerto Rico posee programas para disminuir la violencia contra la mujer y fomentar su desarrollo económico, la oficina no posee los recursos humanos ni fiscales para trabajar con el cambio climático y sus implicaciones en las mujeres.

Aunque se entiende la validez y necesidad de los programas en contra de la violencia hacia las mujeres que plantea Fernós, sugiero la posibilidad de que esta violencia esté relacionada a la situación ecológica del país. Ambas están ligadas en un sistema de desigualdad que se reproduce a través de diferentes formas de violencia: el abuso hacia las mujeres y el medio ambiente tiene que ver con poder, control, ignorancia, (in)justicia, falta de acceso a medios económicos y de educación, entre otros factores. Además, el sexismo y la degradación o explotación ecológica benefician económicamente aquellos que están en el poder y aunque el ejercicio del poder no es esencialmente masculino y atraviesa otros ejes de desigualdad social, la mentalidad de control y subordinación en los reclamos de género se ha adscrito mayormente a los hombres. Según Silvia Starkoff, socióloga, escritora y consultora en asuntos de género, medio ambiente, ecología y conservación en Argentina, el control del medio ambiente y los recursos naturales, pone en juego un espectro de relaciones de poder, entre ellas las de género.

Lo mismo sucede con la investigación, política y planes de mitigación relacionados al cambio climático. En el prólogo del libro *Gender and Climate Change* (2010), antes citado, Dankhelman (2010) incluyó el siguiente planteamiento:

We women suffer a lot because we are the primary caregivers and handlers of the environment and ecosystems at the grassroots level... it is not only the lack of proper planning at the local level that has caused these problems – there are major contributors at global level whose unjust drive for more unfair policies have disturbed the balance of our larger ecosystem. So the ones responsible should take informed and just actions to mitigate climate change and to help us adapt better to its impacts (p. xxiii)

Haydée Colón Cardona ejemplificó lo que Dankhelman afirmaba en la cita anterior; fue una mujer clave en estas luchas de base; siempre buscó la justicia socio-ambiental para su comunidad y para las comunidades del resto de la Isla.

El 18 de junio de 2008 tuve la oportunidad de evidenciar su rol como líder dentro de Caimito (uno de los pocos campos que sobrevive en la ciudad de San Juan) y de escuchar sus experiencias como activista en diferentes luchas en el país. Llegué a la casa de Colón Cardona en Caimito esa tarde. Ella me estaba esperando con unos galones de agua que necesitábamos para regar unos árboles y arbustos que acababan de sembrar en la carretera, en el área designada como Caimito Reverdece. La Autoridad de Energía Eléctrica había cortado por segunda vez los árboles que la comunidad había sembrado en esa área. Luego de un rápido saludo, llenamos los galones y nos encaminamos a regar las plantas antes de que oscureciera (ya eran las seis de la tarde). Allí nos encontramos a un señor a quien rápidamente Doña Haydée reclutó para que ayudara con el riego de las plantas en los siguientes días. Al transcurrir la noche, me di cuenta que Colón Cardona no conocía al señor ni a otros que se cruzaran en nuestro camino. Esta líder hablaba, reclutaba y aconsejaba a todo el que se encontraba en el camino. Así poco a poco fui entendiendo cómo esta activista logró organizar a sus vecinos en múltiples luchas en contra de poderosas compañías desarrolladoras. Antes de regresar a su casa, Colón Cardona condujo su carro por diferentes calles de Caimito apuntando a proyectos que habían logrado detener, al igual que proyectos que la comunidad había logrado construir para su beneficio. Llegamos hasta la casa del arquitecto Matos, quien diseñó la escuela intermedia que estaba en plena construcción y que tanto necesitaban. Allí Colón Cardona narró cómo, aunque él fue el que diseñó la escuela, el Departamento de Educación no le permitió que supervisara el proyecto. Ella nos aseguró que lograría que el proyecto volviese a las manos de Matos, que esa era otra lucha que ella iba a ganar.

De regreso a su casa, continuó narrando la historia de los proyectos que encontrábamos en el camino. Sostuvo que en esos momentos la comunidad tenía cuatro proyectos de *walk ups* en quiebra por haber cometido un sinnúmero de

infracciones e irregularidades en el proceso de permisos. Uno de los proyectos que tenían paralizados hace once años era Campiña Courts. Según Doña Haydée, este proyecto de viviendas había comenzado a ser construido sin llevar a cabo vistas públicas, entre otras infracciones. Comentó que dicho proyecto estaba financiado por Westernbank y que ella y otra compañera fueron directamente al banco para hablar con los agentes encargados del proyecto. Colón Cardona narró que las habían atendido muy bien hasta que ella comenzó a reclamarles cómo era posible que dicho banco sufragara un proyecto irresponsable con la comunidad de Caimito y con el ambiente. Dijo: “en ese momento nos botaron del banco”.

En la carretera, nos encontramos al presidente del Centro Cultural de Caimito. Doña Haydée estacionó su carro en la acera de inmediato para saludarle y preguntarle sobre la fiesta de aniversario del Centro Cultural que estaban planificando para el fin de semana (ella estaba encargada de invitar a la prensa). Dialogaron un rato; se comprometió en ir a ayudar a las señoras que estaban preparando la comida en el Centro a la noche, y continuamos rumbo a su casa.

Al acercarnos a su casa, me contó que había llegado a Caimito a los 15 años luego de que su familia fuera desalojada de la Comunidad Amparo de los Cinco, que su experiencia de niña había sido una urbana rural y que al ser desalojada por segunda vez, sintió una confusión de identidad. Dijo: “primero tú eres de Río Piedras y después de Caimito”. Finalmente, llegamos a su casa donde residía con su mamá. Entramos, y rápidamente saludó y atendió a su mamá que en aquellos momentos sufría de algunas condiciones de salud que la mantenían en cama; me ofreció algo de comer (malanga majada); se preparó un café y subimos al segundo piso. Antes de sentarnos a continuar nuestra entrevista, Doña Haydée me mostró cómo su segunda planta era una construcción responsable con el ambiente, con techos de dos aguas, ventanas y aperturas estratégicamente ubicadas para ayudar la mejor ventilación e iluminación durante el día y la noche. Además, tenía un tanque que recolectaba el agua de lluvia y luego la circulaba para ser utilizada en la casa.

Luego del recorrido dentro de su hogar, le pregunté cómo se había aproximado al asunto medioambiental. Respondió que ella había sido trabajadora social para el Departamento de la Familia y que fue una de las que fue a ayudar a la comunidad de Mameyes luego del fatídico derrumbe de la década de los ochenta. Comentó que esa experiencia cambió su vida. Dijo, “el ver las caras de desesperación, desorientación y terrible tristeza por esta catástrofe natural me conmovió a trabajar con asuntos relacionados a las comunidades y al ambiente”. Además denunció las muchas injusticias que continuó experimentando dentro de su propia comunidad de Caimito con la constante amenaza de compañías de “desarrolladores”. Añadió que estuvo muy activa en la lucha obrera, y que esto la ayudó a desarrollar su liderazgo a través de su vida. También dijo que Dios la escogió y que “puso muchos ángeles en esta lucha”. Dentro de sus experiencias como líder de su comunidad encontró

muchísima corrupción de parte de las agencias del gobierno al igual que de entidades privadas. Añadió que a pesar de haber experimentado momentos muy difíciles, su lucha le brindó acceso a un sin número de comunidades donde pudo recoger sus experiencias lo que consideró algo muy positivo.

Encendió su computadora para mostrarme un documento muy impactante que ella creó (con la ayuda de otros activistas) y que compartía con las muchas comunidades que visitaba, para brindarles su experiencia como organizadora y luchadora en su comunidad. En estas visitas y charlas que daba en diferentes comunidades también compartía los logros obtenidos. En aquel *Power Point*, ella planteaba que era el deber de todo ciudadano y ciudadana participar en esos procesos. Educaba al público sobre la Constitución de Puerto Rico y el rol y las responsabilidades de las diferentes entidades gubernamentales como la Junta de Planificación que, según Colón Cardona “deberá guiar y controlar el uso y desarrollo de los terrenos”, la ley de Comunidades Especiales, entre otra información que el pueblo desconoce. En su presentación incluía fotos, artículos y reportajes de la Isla que utilizaba como ejemplo de corrupción de parte del gobierno y sus agencias, de los abusos cometidos en contra del medio ambiente y a comunidades especiales. Presentaba el impacto social y humano del desarrollo desmesurado y mal planificado y hablaba sobre el “desmembramiento de la comunidad...”.

Ese junio del 2008, hablamos en su casa hasta casi hasta las diez de la noche. A esa hora salimos en carro nuevamente, esta vez al Centro Cultural de Caimito. Allí ayudamos a las señoras que estaban preparando la comida para el aniversario del Centro. En el Centro Cultural, me presentó a otras activistas y tuvimos la oportunidad de hablar con ellas. Comimos buñuelos, y dialogamos un rato sobre la historia del Centro Cultural. El presidente me mostró fotos de diferentes actividades que se habían llevado a cabo a través de los años, compartió cómo el Centro ha crecido y cómo goza del apoyo de su comunidad. De regreso a la casa de Doña Haydée, nos encontramos una vaca en la carretera. Al ver la vaca, ella dirigió su carro inmediatamente hacia el cuartel de Caimito para informarles del peligro que corría la vaca y los conductores.

La siguiente mañana recibí una llamada de Doña Haydée. Me dijo que se había levantado pensando en nuestra entrevista. Entonces compartió lo siguiente:

La mayoría de las luchas ambientales están dirigidas por mujeres... se sacan del corazón y por lo que es justo... donde están los varones [se dejan llevar] por lo que dice la ley... [Las mujeres] se dejan llevar por si es justo para sus hijos, entienden que no tienen por qué dejarles un aire donde no puedan respirar... la responsabilidad es intergeneracional... (H. Colón, comunicación personal, 19 de junio del 2008)

Luego de disculparse por llamar tan temprano, reiteró su interés en mi investigación y manifestó su disponibilidad para continuar dialogando en su casa. Por años me estuve encontrando a Doña Haydée en diferentes actividades y foros relacionados a asuntos de justicia ambiental y social. Además, la veía en las noticias y los periódicos del país denunciando alguna injusticia. El mismo año de nuestra entrevista, redactó y presentó una ponencia de la Comisión de Ciudadanos al Rescate de Caimito sobre la Resolución de la Cámara de Representantes Núm. 7168 en el 2008. Colón Cardona dijo en esa ocasión:

El terreno no es sólo tierra, es donde tenemos depositados los pies, las creencias, la identidad, la cultura, la seguridad. El terreno no es sólo donde se siembran los muertos sino donde se mantienen los vivos. El terreno no es sólo donde se siembra, se baila, donde nos reproducimos sino la razón por la cual peleamos y nos saquean. (p. 5)

Rol de las mujeres en las luchas ambientales

Doña Haydée siempre será un gran ejemplo de cómo diferentes comunidades en la Isla se han organizado para proteger su entorno natural. Esta activista y esta lucha ejemplifican la necesidad de —junto a las comunidades, y sus líderes (muchas de ellas mujeres)— redactar un plan de terrenos, al igual que un plan de mitigación para atender los efectos del cambio climático, que respete el entorno natural y la gente.

Los conocimientos de las mujeres tienden a estar marcados por la solidaridad, la colaboración y del trabajo en grupo, y por ende, es expresado a través de, y pensando en, el grupo, familia o comunidad. Además compartía sus experiencias, sus luchas y activismo con otras comunidades, educaba al público sobre la Constitución de Puerto Rico y el rol y las responsabilidades de las diferentes entidades gubernamentales como: la Junta de planificación, la ley de Comunidades Especiales, y otra información que gran parte de la ciudadanía desconoce. Colón Cardona compartía sus experiencias con otras comunidades, les presentaba artículos y reportajes de la Isla que utilizaba como ejemplo de corrupción por parte del gobierno y sus agencias, de los abusos cometidos en contra del medio ambiente y a comunidades especiales. Presentaba el impacto social y humano del desarrollo desmesurado y mal planificado y hablaba sobre el “desmembramiento de la comunidad... y la responsabilidad medioambiental”.

El Sr. Félix Ortiz, líder comunitario del municipio de Salinas y aliado de la activista ambiental Ruth “Tata” Santiago, me comentó (durante una entrevista que le hice a Tata) que una de las líderes ambientalistas que más lo ha impactado ha sido precisamente Haydée Colón. Él admiraba el caso que había ganado a favor de la reconstrucción del cauce de la quebrada la Chiclana, un caso millonario y altamente reconocido a través de la Isla. Me expresó que siempre había visualizado a Haydée como una mujer “bien brava, bien definida”. Tuvo la oportunidad de compartir con

ella en una conferencia sobre comunidades especiales en la cual ella habló de las estrategias que usa el gobierno y otros intereses económicos para eliminar ciertas comunidades y luego apropiarse y explotar esos terrenos. Inclusive utilizó a Colón como referencia para explicar el caso de su comunidad Las Mareas en Salinas. En una ocasión expresó “Haydée Colón diría...que hay una agenda clara de desaparecerla” (11 abril 2008). Lo peculiar de su relato fue la impresión que tuvo un día en que se encontró a Haydée en una farmacia haciendo compras con su mamá, con quien ella reside y también cuida. Le sorprendió ver a esta figura, a esta mujer luchadora, en esa otra gestión. En la entrevista Félix Ortiz expresó:

La ambientalista de las más... [silencio contemplativo] ... la que logró ganar un caso de 10 millones [de dólares] de la Chiclana. No todo el mundo puede decir eso ... Yo la conocí en una actividad que hicieron en Caguas; fue bien interesante porque después la vi ... bien interesante ... lo interesante es que uno ve a Haydée bien brava, bien definida y de momento me la topo en Walgreens con su mamá que es paciente de una condición y la veo ajorá haciendo compras ... eso nunca es el panorama de los varones ... (F. Ortiz, comunicación personal, 11 de abril de 2008)

Las mujeres son las que llevan el liderazgo de la mayoría de las luchas ambientales en la Isla, son imprescindibles para lograr un desarrollo sustentable verdadero y para gestar planes de mitigación para enfrentar el cambio climático de manera efectiva. Ellas son las cuidadoras de nuestros hijos e hijas, de nuestros padres al momento de enfermar o al entrar en la tercera edad, y en muchos casos, de nuestro entorno natural. Usualmente son las que conocen el flujo del agua a través de los años vividos en un barrio o vecindario y las que han observado el vaivén de las aves que ya no vienen, o que tal vez ya no vienen como antes. Haydée Colón Cardona también me presentó ejemplos de lo anterior durante nuestra entrevista. En el recorrido que me dio por Caimito mencionó y apuntó a los hogares de las mujeres de la comunidad que la habían ayudado a poder lograr luchar contra las compañías desarrolladoras que estaban atropellando no solamente el recurso tierra, sino el recurso agua. Durante nuestro recorrido, Colón Cardona dijo:

Aquella señora que vive en aquella casa; ella era la que me decía cuando entraban los camiones; y la señora que vive en la casa de allá arriba; ella era la que me decía si abrían los portones porque ese portón no se supone que se abra; nosotros tenemos ese proyecto congelado hace unos años. (H. Colón, comunicación personal, 18 de junio del 2008)

Entonces las mujeres son las que conocen nuestro entorno, el entorno inmediato de nuestro hogar y el entorno medioambiental que rodea a éste. Todos esos conocimientos son importantes, deben de ser contemplados al momento de desarrollar planes económicos, al igual que planes relacionados a los cambios climáticos y su impacto ecológico y social.

En el 2010, Colón Cardona luchó contra las Empresas Loyola y el proyecto Ciudad Jardín de Cupey. Dicho proyecto fue paralizado por el Tribunal Apelativo. La sentencia sostiene que el proyecto va contra la ley del Corredor Ecológico y el Arboretum de Cupey (*El Nuevo Día*, 1 de abril de 2010). En esta ocasión Colón Cardona sostuvo que el proyecto estaba ubicado en terrenos de Caimito y que “aumentará la propensión a inundaciones en la zona”.

Consideraciones finales

Aunque han pasado siete años desde nuestra entrevista, las posturas de Haydée Colón Cardona y su percepción de los movimientos comunitarios y cómo estos deben de estar ligados con los ambientales, me parecen atinados, pertinentes y urgentes. Desde sus experiencias de vida, organizativas y de lucha, esta activista hizo observaciones muy acertadas, entre ellas está la necesidad de que la comunidad científica y ambiental se conecten de manera genuina y eficaz con las comunidades. A estas observaciones y reclamos, le añadiríamos los planteamientos que hacen las autoras y activistas a nivel internacional de los ensayos incluidos en *Gender and Climate Change* (2010). Dankhelman (2010) planteó (como demostró Colón Cardona):

...studies show that women's positions and roles have been seriously neglected, not only in the practice of the environmental conservation and sustainable management of resources, but also in the more scientific foundations of such activities in environmental science and studies. At policy level, the need to mainstream gender in the environmental sector and in sustainable development efforts has been recognized during the past 15–20 years... this recognition is still not internalized in many institutions and needs intense external advocacy work in order to result in gender-sensitive policies and practices of dominant organizations and institutions. This is especially the case with regard to gender and climate change... (p. 5)

Además, me atrevería a sostener que Colón Cardona estaría de acuerdo con el siguiente plan sugerido en el mismo libro:

For communities to sustain the impact of climate change the following actions need to be undertaken: first, reconsider urban planning from a poverty and gender-responsive lens. Second, build the capacities of local communities to respond to the needs arising from climate-induced disasters. Third, support local communities to identify the hazards and risks they face, as well as their coping strategies, then translate this knowledge to local community action plans for mitigation or reduction to these hazards. (Kholza & Masaud, 2010, p. 89-90)

Estos planes de integración y de acción son los que Doña Haydée Colón Cardona promovió en las comunidades que tanto defendió en Caimito como líder comunitaria y en otras partes de la Isla como trabajadora social y como activista en busca de justicia social y ambiental. Retomemos esta visión y recordemos su legado.

Literatura citada

- Colón Cardona, H. (2008). *Ponencia de la Comisión de Ciudadanos al Rescate de Caimito sobre la Resolución de la Cámara de Representantes NÚM. 7168*.
- Dankelman, I. (2010). *Gender and climate change: An introduction*. London, UK: Earthscan.
- Kholsa, P., & Massaud, A. (2010). Cities, climate change and gender. In I. Dankelman (ed.), *Gender and climate change: An introduction* (p. 89-90). London, UK: Earthscan.
- López Marrero, T., & Villanueva Colón, N. (2006). *Atlas ambiental de Puerto Rico*. Puerto Rico: La Editorial Universidad de Puerto Rico.
- Organización de Mujeres para el Medio Ambiente y Desarrollo. (2007). *Declaración sobre cambio climático e igualdad de género*. Recuperado de WEDO-CWWL-20declaracion-20en-20castellano-20on-20climate-20change-20and-20gender-20equality2007
- Muñoz Vázquez, M. (1992). Poor urban women: Improving health and the working Environment. *The role of Puerto Rican women in environmental issues and sustainable development, international symposium/workshop*, Non Gubernmental Organization Forum, United Nations Conference on the Environment and Development, Río de Janeiro, Brasil.
- Muñoz Vázquez, M. (1996). Gender and politics: Grassroots leadership among Puerto Rican women in a health struggle. In A. Ortiz (Ed.), *Puerto Rican women and work: Bridges in transnational labor*. Philadelphia: Temple University Press.
- Starkoff, S. (2002). *Naturaleza, agenda de mujeres*. Recuperado de www.agendademujeres.com

CONSIDERACIONES EN CUANTO AL CALENTAMIENTO GLOBAL

Máximo J. Cerame-Vivas, Ph.D.¹

Recibido el 15 de mayo de 2014; aceptado 8 de junio de 2015

Resumen – El calentamiento global se ha convertido en un motivo de preocupación, y ha llegado a ser ampliamente, aunque tal vez erróneamente, aceptado. El autor revisa algunas de las preocupaciones y las preguntas que se plantean sobre la base de la información existente y los principios fundamentales. Considera por ejemplo, la producción de CO₂ de la población humana en aumento. En comparación con las emisiones de CO₂ derivadas de la quema de combustibles fósiles, la respiración humana es poco menos del 46% de lo que emite la combustión de combustibles fósiles. Se presentan algunas tecnologías alternas a la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, y una breve discusión sobre las presiones políticas y económicas que se ejercen contra las energías renovables.

Palabras clave: Calentamiento global, población humana, tecnologías alternas

Abstract – Global warming has become broadly accepted as a cause for concern, although perhaps wrongly accepted as such. The author reviews some of the concerns and questions that are raised on the basis of existing information and fundamental principles. The CO₂ output of the increasing human population is taken into account. When compared to the CO₂ emissions resulting from fossil fuel burning, human respiration is slightly less than 46% of the fossil fuel combustion output. Some alternative technologies to power generation from renewable energy are presented, and a short discussion on the political and economic pressures that are brought to bear against renewables is also included.

Key words: Global warming, human population, alternative technologies

Introducción

El cambio climático siempre ha existido. Ha sido una realidad en el pasado. Es una realidad hoy, y será una realidad en el futuro. Para un ecólogo, el éxito de la vida es adaptarse al inexorable cambio. La especie que se adapta sobrevive. La que no se adapta, se extingue. El cambio climático siempre ha sido un laboratorio para la adaptación y supervivencia de las especies. Ninguna especie ha podido impedir el cambio climático.

Sólo en la mente humana cabe pretender que tiene el poder de cambiar el clima, o el poder de detener el cambio. Estos pensamientos son los que han llevado al Panel Intergubernamental de Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNIPCC, por sus siglas en inglés) y a quienes se preocupan por el calentamiento global a plantear, por ejemplo: “el planeta se está calentando y la culpa la tiene el hombre

¹ Fundador del Departamento de Ciencias Marinas, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Profesor de Urbanismo y Salud Pública (Ecología Humana), Escuela de Medicina San Juan Bautista. San Juan PR, 00926-2945. Email: ceramevivas@gmail.com

por quemar combustibles fósiles”. La quema de combustibles fósiles genera CO₂. El racional que se expone es que CO₂ convierte a nuestra atmósfera en un invernadero, causando que se “cocine” el planeta. La concentración de CO₂ en nuestra atmósfera era de 0.028% o 280 partes por millón (ppm) antes de la revolución industrial, y hoy ha aumentado a 0.038% o 380 ppm. Y, claro, la fuente amenazante de CO₂ es la actividad humana, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles, por lo que el hombre tiene que ser castigado.

El pensar que la raza humana es el único responsable, puede traer ciertas interrogantes legítimas como: ¿Podría haber otras fuentes de CO₂ aparte de la quema de combustibles? ¿Es el CO₂ el único provocador de ese calentamiento? ¿Podría haber otros gases u otros factores que provoquen calentamiento? ¿Es el aumento en CO₂ consecuencia del festín irresponsable de la humanidad? ¿Podría verse el calentamiento global como una oportunidad de negocio? ¿Podría verse el calentamiento global como una oportunidad de control económico a nivel global? La contestación a estas preguntas puede variar. Pero son preguntas que, como decimos en el campo, “se caen de la mata”.

El profetizar no requiere mucho esfuerzo. El alarmar no cuesta nada. El asustar es fácil. Nadie tiene que probar que sus alarmantes profecías se van a cumplir para lograr preocupar a la gente. La profecía sola preocupa, especialmente si es de mal agüero. Todos hemos sucumbido en algún momento ante alguien que nos ha dicho que tiene un “presentimiento” de que algo malo nos va a pasar. Tanto nos preocupa, hasta que ese evento malo lo provocamos nosotros mismos. El que nos augura desastres no tiene nada que perder. Pero tiene mucho que ganar: quien nos asusta, nos controla. A veces nos controla indefinidamente.

Nos dicen que hoy el calentamiento global es el presunto protagonista y principal provocador de que el nivel del mar está subiendo, Puerto Rico se está achicando, vendrá calor más fuerte, habrá sequías prolongadas, las tormentas serán mucho peores, las playas desaparecerán, la zona costera se perderá, el 56% de los puertorriqueños que habitan en municipios de la zona costera están en grave riesgo, la temperatura subirá 5° F.

En un artículo publicado en *El Nuevo Día* el 1^{ro} de febrero del 2008, un respetado oceanógrafo nuestro nos advirtió que hay un aumento en el nivel del mar y que nuestras playas están destinadas a desaparecer. Nos envía una señal de peligro “SOS”. Pero en su honestidad intelectual nos advirtió también: “Y, dicho sea de paso, puede ser que ese aumento observado sea porque la Isla, tectónicamente, se esté hundiendo. Pero el efecto es el mismo”.

El aumento en el nivel del mar durante un calentamiento global sería consecuencia del derretimiento del hielo en nuestros casquetes polares. Pero el hielo del casquete polar del Ártico ya descansa sobre el mar del océano Ártico, y ya desplazó toda el agua que iba a desplazar. Por lo que si se derritiera todo el casquete

Ártico no se provocaría un aumento en el nivel del mar, sino un descenso. El hielo es menos denso que el agua y ocupa mayor volumen. Por eso flota. Si se derrite, se reduce en volumen. Igualmente las cornisas o tabletas de hielo —los *ice shelves*— del Antártico, ya están flotando en el mar y ya desplazaron el agua de mar que iban a desplazar.

Otra propiedad del agua es su calor latente, dato y concepto que se nos enseña en cursos de física y de ciencia general. El calor latente es la energía (Tabla 1) en calorías absorbida o liberada cuando una sustancia cambia su estado físico — cuando se congela o se derrite, o cuando se evapora o se condensa— sin cambiar su temperatura.

Tabla 1

Calor latente del agua

Calor latente H ₂ O	cal/g
Fusión:	80 cal/g
Vaporización:	540 cal/g

Nota. cal/g = calorías por gramos

Un gramo de agua requiere una caloría para aumentar su temperatura un grado Centígrado. Un gramo de hielo requiere una caloría para aumentar su temperatura un grado C. Pero un gramo de hielo a 0° C requiere 80 calorías para convertirse en un gramo de agua a 0° C. Un gramo de agua se enfría 1° C si se le resta una caloría y se calienta 1° C si se le supe una caloría. Pero derretir un gramo de hielo a 0° C para convertirlo a un gramo de agua sin cambiar su temperatura requiere 80 calorías. Calentar el casquete polar Antártico lo suficiente como para derretirlo requerirá una cantidad de calor que acabaría con la vida en la Tierra mucho antes. Esto son dudas que hay que plantearse...

Los científicos de gran respeto nos dicen que el calentamiento de la atmósfera terrestre puede deberse a efectos de la actividad solar. El calentamiento del planeta Tierra, sin embargo, es otro fenómeno. Bajo nuestros pies, a solo 6,378 kilómetros o 3,963 millas de distancia, el centro de la Tierra está a 5,400° C, igual a la temperatura de la superficie del Sol. El magma caliente y la lava volcánica anteceden al hombre en la Tierra desde mucho antes de que el hombre quemara combustibles fósiles.

Según un informe del UNIPCC, la temperatura de la Tierra aumentará 0.74° C al cabo de un siglo. Otro informe del UNICCP advierte de una variación máxima de 6° C durante un siglo. Según el Comité de Casa Blanca sobre el Cambio Climático, el aumento será de entre 2° C y 5° C al cabo de un siglo. Como dato comparativo, la temperatura máxima jamás registrada en el Planeta fue de 57.7° C, en Libia, en 1922.

La temperatura mínima jamás registrada fue de 89.2° C bajo cero, en la Antártica, en 1983. El rango (*spread*) entre temperatura máxima y mínima en el planeta Tierra es de 146.9°C de amplitud. Como dato boricua (Servicio Nacional de Meteorología, comunicación personal, 29 de marzo de 2013), el rango (*spread*) entre temperaturas máxima y mínima en Puerto Rico ha sido de 48°F (26.6°C). Estos son rangos (*spreads*) en temperaturas reales, mientras que la preocupación por el calentamiento global está basada en aumentos estadísticos de temperaturas promedios.

¿Podría haber otras fuentes de CO₂?

El CO₂ es el desperdicio de todo proceso metabólico. Todos los organismos respiran oxígeno y exhalan CO₂. La flora mundial emite oxígeno mediante fotosíntesis durante el día, pero durante la noche consume oxígeno y emite CO₂, como cualquier “hijo de vecino”.

Cada ser humano, en estado de reposo, emite aproximadamente un kilo (2.5 libras) de CO₂ al año. Nuestra humanidad alcanzó 7,000,000,000 de habitantes en el 2011. Una década después alcanzará los 8,000,000,000; en 2021. Alcanzará en 5.7 años adicionales, en agosto de 2026, los 9,000,000,000 habitantes. Si analizamos la población del 2011, la raza humana emitió CO₂ equivalente al 46% de todo el CO₂ emitido por toda la quema de todos los combustibles fósiles en todas sus vertientes en todo el mundo: industria, generatrices, transportación y consumo doméstico (Tabla 2). Por lo tanto, la raza humana emitió más que todo el CO₂ resultado de la deforestación a nivel mundial (Figura 1 y Tabla 3). Se proyecta que para el 2026, respirando emitiremos 3.28 giga-toneladas de CO₂.

Tabla 2

Emisiones de CO₂ en Giga-toneladas de la respiración humana

Año	Población	Emisión de CO ₂ (Giga-toneladas)/año
2011	7,000,000,000	2.5
2021	8,000,000,000	2.9
2026	9,000,000,000	3.28

Nota. Respiración humana = 2.5 giga-toneladas CO₂/año 2011=46% de toda quema de combustibles fósiles: industrial, vehicular, generatrices, etc.

Sin embargo, hasta el momento no se ha visto que ningún comité de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) haya recomendado que se establezcan políticas públicas de control de la natalidad para salvar el Planeta. La

mayor sobrepoblación viene de los países subdesarrollados. El menor incremento poblacional viene de los países desarrollados. Proponer controlar la natalidad de los países pobres subdesarrollados es políticamente inaceptable. Estos son temas que hay que plantearse.

Pero, la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la respiración humana no son las únicas fuentes de CO₂. Los océanos, la flora terrestre, y los suelos y el detrito son las principales fuentes de CO₂ del planeta Tierra: fuentes enteramente naturales.

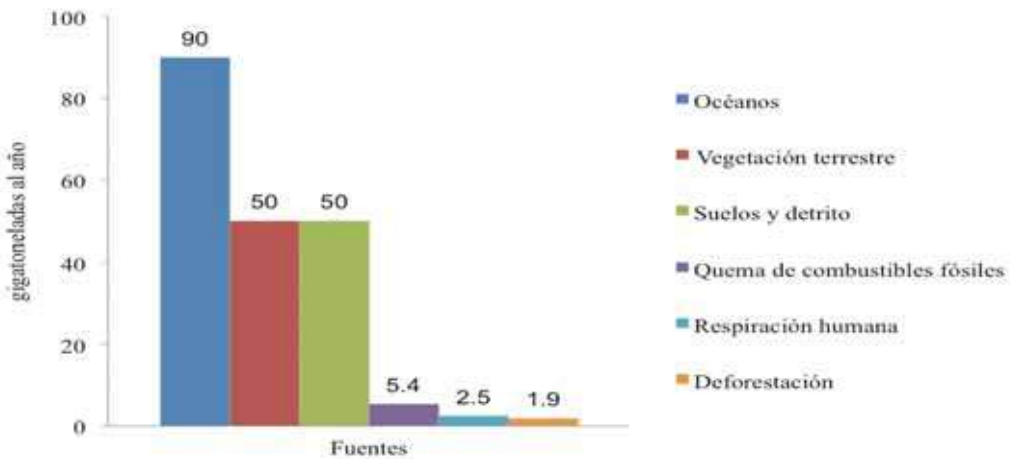


Figura 1. Toda fuente de CO₂ en gigatoneladas al año (Siegenthaler & Sarmiento, 1993)

Tabla 3

Otras fuentes de CO₂

Fuentes	Gt/año	Por ciento
Naturales		
Océanos	90	45.0
Biota terrestre	50	25.0
Suelos y detrito	50	25.0
Respiración humana	2.5	1.25
Subtotal	192.5	96.2
Antropogénicas		
Quema de combustibles fósiles	5.4	2.7
Deforestación	1.9	1.0
Subtotal	7.3	3.7
Total	199.8	100

Nota. Corrección a Siegenthaler, & Sarmiento (1993). 1 gigatonelada = 1,000,000,000 toneladas métricas

¿Cuántos otros factores podrían afectar el clima?

Tomemos el polvo del Sahara, el *Saharan Air Layer* o *SAL*. El polvo del Sahara, además de polvo, nos trae radionucléidos, insectos, larvas, esporas y semillas. ¿Afecta el polvo del Sahara nuestro clima? Claro que sí. El polvo del Sahara tiene su componente natural y su componente antropogénico. En muchos países africanos se hace agricultura de desmonte y fuego, o *slash and burn*. En temporadas de fuego de vegetación provocado por la mano del agricultor africano, las cenizas son un componente del polvo del Sahara.

La economía y compensación

Se aprovecha la quema de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, para la industria, para la transportación, para el desarrollo económico de los países y para las tecnologías de “calidad de vida” de nuestro mundo moderno. Es el principal renglón económico y comercial. No hay que divagar mucho para concluir que el costo de los combustibles fósiles, sus precios a nivel mundial, y sus influencias políticas nos dominan.

Extraer un barril de petróleo crudo del lecho marino cuesta \$10.09. Extraerlo de un pozo en tierra cuesta \$12.73 (en EE UU). Ese barril se vende a \$108.00, lo que significa que se vende a entre ocho o diez veces su costo de producción. Si usáramos el rango de las compensaciones anuales a ejecutivos de empresas de combustibles fósiles como índices de la importancia que se le adjudica a sus roles, veríamos el panorama según se establece en la Tabla 4.

Tabla 4

Compensación a ejecutivos

Compañía	Compensación	
CEO EXXON Mobil	\$28,952,558	x 872*
CEO Abbott	\$25,564,283	x 770
CEO American Express	\$16,813,272	x 506
CEO AFLAC	\$15,955,183	x 480
CEO Bristol-Myers	\$11,770,880	x 354
CEO Allstate	\$9,299,620	x 280

Nota. *Múltiplos del salario promedio de su empresa

Es ley natural que todo lo que domine habrá de ser combatido por la raza humana. Si al comercio de los combustibles fósiles hay que atribuirle los males grandes, tan grande como los problemas ambientales globales del planeta Tierra, pues

habrá que acusarlos y reclamarles que indemnicen. Los grandes males globales a los que se les puedan atribuir causas probables, por lo cual nos tengan que indemnizar y recompensar daños tienen que ser señalados, acusados, y traídos a juicio. *Big Oil, Big Bucks, Big Coal, Big Gas* tienen que ser los principales sospechosos, y en gran medida lo son. A ellos, y no a los océanos, hay que responsabilizarlos por los grandes males como el calentamiento global. Los océanos no son demandables ni nos pueden indemnizar. Además, por ser asuntos mundiales, convendría involucrar a la ONU, y hasta a un vicepresidente de los Estados Unidos. Y hay que insistir hasta que las grandes mentiras, inconvenientes o no, se conviertan en las grandes realidades. Reuniones anuales, en todas partes del mundo, daría publicidad al *issue*.

Claro, que hay que enfatizar si los planteamientos que surjan en esas reuniones son legítimos o no, y cada informe de los comités de cambio climático tiene que contener sus propios apoyos de veracidad y convencimiento. La Tabla 5 muestra los criterios de confiabilidad.

Tabla 5

Criterios de confiabilidad y grados de confianza

Terminología de confiabilidad	Grado de confianza de que sea cierto
Muy alta confiabilidad	Al menos 9 de 10 posibilidades
Alta confiabilidad	Cerca de 8 de 10 posibilidades
Mediana confiabilidad	Alrededor de 5 de 10 posibilidades
Baja confiabilidad	Alrededor de 2 de 10 posibilidades
Muy baja confiabilidad	Menos de 1 de 10 posibilidades

Entonces hay que lograr convencer al mundo y a las autoridades competentes de que los “culpables” tienen que responder. Y comienzan los reclamos. Ya han comenzado las pasadas de facturas.

Reclamos de compensación

Estas serían las facturas según la UNIPCC de la Cumbre de Lima (2014) para que los países en desarrollo puedan adaptarse al cambio climático, a pagarse con un *Carbon Tax*:

- \$70,000,000,000 a \$100,000,000,000 para hoy
- \$150,000,000,000 para 2025 – 2030
- \$250,000,000,000 - \$500,000,000,000 antes del 2050

Ya hemos visto que el furor por el calentamiento global tiene vicios de mercantilismo comercial y de dádivas de asistencia técnica. Veamos ahora algo de las propuestas que se han esgrimido para combatirlo.

Fertilizar el océano Pacífico para provocar florecida del fitoplancton

Se propone abonar el océano Pacífico con sales de hierro para provocar una florecida de fitoplancton que atrape el CO₂. Claro, lo atraparía en fotosíntesis durante el día, pero lo volvería a liberar durante la noche. Las plantas de noche respiran oxígeno y liberan bióxido de carbono como usted y yo. Esto requeriría tratados con todas las naciones que bordean el Pacífico, y todos los intereses pesqueros que laboran allí. ¿Ven ahora porqué la importancia de la ONU? ¿Cuánto costaría?

Además, jugar con la base alimentaria de todo un océano podría resultar en la alteración de la cadena alimentaria de toda vida marina. Si se notaran daños, ¿Cómo se corrigen?

Reflejar el calor solar con sal en la atmósfera

Se crearía una flota de miles de barcos en el Atlántico bombeando agua de mar hacia la atmósfera como miles de fuentes, para que el agua se evapore y se formen cristales de sal. Los cristales de sal reflejen el calor del sol al espacio. Claro, crearían una atmósfera de salitre corrosiva en extremo a través de la cual no volarían aviones de propulsión a chorro.

Esos miles de barcos, ¿dónde serían construidos?, ¿bajo qué bandera navegarían?, ¿quién paga?, ¿cómo se alteraría el clima con toda esa sal en el aire?, ¿y las cosechas en tierra?, ¿ven porqué la importancia de la ONU?

Quizás debemos recordar que la evolución abarca a la Tierra y a todo el universo, que la evolución todavía está en proceso, y que la Creación es un evento que continúa. El clima va a seguir evolucionando con temperaturas que subirán y bajarán. Habrá más extinción de especies y especies de nueva evolución. Todo cambia, además del clima.

Además, hay mucho que no conocemos. Un descubrimiento relativamente reciente ha sido el de fumarolas hidrotermales en el suelo del Caribe al sur de las Islas Caimán a profundidades de 4,960 m. Estas fumarolas hidrotermales emiten agua a 485° constantemente. Se preguntarán ustedes, ¿Si el agua hierve a 100° C, cómo esas fumarolas no emiten vapor? Sencillo: a 4,960 metros de profundidad, la presión hidrostática no permite que el agua hierva. Esta agua súper calentada (designada agua supercrítica) fluye como un chorro de agua cualquiera, pero supercrítica, y el vapor si lo hubiere pasaría al agua de mar ¿Cómo se afecta el sistema termohialino del océano con estas fuentes de agua supercrítica? Todavía no sabemos.

¿Qué hay que hacer?

Si su motivación es ayudar a resolver el “calentamiento global, o si su motivación es meramente *good housekeeping*, tenemos que diversificar nuestras fuentes de energía. Tenemos que buscar fuentes de energía renovable y mejores combustibles.

El sol nos da varias formas de energía. Las más aprovechables son luz y calor. Todos conocemos fotoceldas, que convierten la luz solar a energía eléctrica, y todos conocemos calentadores solares, que aprovechan directamente el calor del sol.

El mar nos provee energía térmica y mecánica que no estamos aprovechando. Una tecnología de aprovechamiento es la *Limpet*. Ese nombre en alegoría a un caracol costero llamado *Limpet*, al que se le olvidó hacer su concha en espiral y vive adherido a las rocas. Imagínense un embudo al revés metido en el mar hasta bajo la superficie en alguna costa. El subir y bajar el nivel del agua con la ola provoca soplos positivos y negativos que mueven turbinas. Tan sencillo como eso.

Pelamis es el género al que pertenece la serpiente marina. Es además una tecnología de aprovechamiento de energía. Imagínense un tren de furgones sujetos unos a otros flotando en la superficie del mar. El movimiento de las olas hace flexionar el tren de unidades, y pistones entre unos y otros, que mueven turbinas. Tan sencillo como eso.

...y hay infinidad de otras opciones!

El combustible perfecto

Esto le parecerá chiste, pero no lo es. Imagínense que Puerto Rico la emprendiera a establecer generatrices de energía renovable a lo largo de nuestra costa norte. Imagínense que Puerto Rico le dedicara la producción de una de esas generatrices a electrolizar agua de mar para producir hidrógeno. Todos nuestros vehículos de motor podrían moverse con hidrógeno, que no nos costaría casi nada.

¿Por qué no estamos ya con proyectos como *Limpet*, como *Pelamis* y con hidrógeno? Por qué no nos dejan y somos unos enclenques. Como ejemplo, un fabricante de autos japonés produjo una edición de autos propulsados por hidrógeno y estableció instalaciones en sus *dealers* para proveer el hidrógeno. Un interés de combustibles fósiles rival compró la flota entera de vehículos nuevos y los aplastó. Asimismo nos están aplastando a nosotros en la producción de energía. Se aplastan todos los otros proyectos innovadores.

Referencias

Lomborg, B. (2008). *Cool it: The skeptical environmentalist's guide to global warming*. United States: Knopf Publishing Group.

Parsons, M. L. (1995). *Global warming, the truth behind the myth*. New York: Insight Books, Plenum Press.

United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014. Mitigation on climate change*. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml

Siegenthaler, U., & Sarmiento, J. L. (1993). Atmospheric carbon dioxide and the ocean. *Nature*, 365(6442), 119-125.

EL PROYECTO DE LA REALIDAD CLIMÁTICA

María A. Juncos Gautier, MSEM¹

Recibido 29 de junio de 2015; aceptado 9 de agosto de 2015

Resumen – Este ensayo describe el Proyecto de Realidad Climática de Al Gore desde sus inicios en la fase de adiestramiento a los embajadores hasta su implantación en Puerto Rico. Los líderes de la Realidad Climática bajo el Cuerpo de Liderazgo de la Realidad Climática tienen la misión de llevar el mensaje de urgencia a diferentes audiencias en sus respectivos países. Desde el 2010, cerca de 500 participantes entre estudiantes y maestros recibieron las charlas en escuelas de la zona de metropolitana de San Juan, Puerto Rico. Los maestros de ciencia impactados han entendido la urgencia de incluir el tema ambiental y del cambio climático en sus cursos. Sin embargo, la labor de educación debe continuar.

Palabras clave: Proyecto de Realidad Climática, Escuelas, San Juan, Puerto Rico

Abstract – This essay describes Al Gore's Climate Reality Project from its beginnings, during the training phase for ambassadors of the project, to its implementation in Puerto Rico. The mission of the Leadership Corps of the Climate Reality Project is to deliver a message on the urgency of climate change to different audiences in their respective countries. Since 2010, around 500 students and teachers have attended these talks at schools in the San Juan metropolitan area in Puerto Rico. The science teachers who have participated have understood the urgency of including the issue of environmental and climate change in their courses. However, education on climate change needs to continue.

Key words: Climate Reality Project, schools, San Juan, Puerto Rico

Introducción

Una de las experiencias educativas más productivas fue participar del adiestramiento de Realidad Climática ofrecido por el honorable Al Gore, ex vicepresidente de Estados Unidos, bajo la presidencia de Bill Clinton en el Primer Encuentro Latinoamericano en la Ciudad de México en el 2009. Gore fue ganador del Premio Nobel de la Paz en el 2007, otorgado por su contribución a la reflexión y acción mundial a favor de acciones que prevengan o aminoren los efectos del cambio climático. Gore apenas comenzaba a dirigir la nueva organización internacional, sin fines de lucro, que llamó en aquel momento: el Proyecto Climático (*The Climate Project* o TCP). A través del TCP, Al Gore quería preparar a una masa crítica de activistas para transformar las políticas públicas relacionadas a atender la crisis del clima. Este proyecto se fundó en el 2006; el mismo año que presentó en las salas de cine del mundo el documental *Una verdad incómoda* (*An Inconvenient Truth*), el cual fue galardonado con un Oscar de la Academia de Artes y Ciencias de la

¹ Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable, Universidad Metropolitana-Bayamón, 1600 Ave. Comerío, Suite 12, Bayamón, PR 00961-6376. Email: mjuncos@suagm.edu

Cinematografía en el 2007, entre otros premios y reconocimientos nacionales e internacionales.

Después de perder las elecciones presidenciales del 2000 contra George W. Bush, Al Gore se enfocó con determinación en liderar una negociación de soluciones para el cambio climático. En *Una verdad incómoda* ofreció una presentación bien ilustrada sobre las consecuencias climáticas de la acumulación de los gases que causan el efecto de invernadero en la atmósfera. Quería alertar y concienciar sobre la urgencia de tomar acción ante esta amenaza, las influencias indebidas de grandes corporaciones multinacionales que comercian petróleo y carbón para evitar cambios en las políticas públicas, y las alternativas viables a través de nuevas tecnologías con fuentes renovables. Estaba convencido, al igual que la gran mayoría de los científicos, que ya para finales del siglo XX y principios del XXI los impactos se comenzarían a sentir en todos los continentes del mundo. Tanto el documental como el inicio de la organización TCP fueron un llamado a la atención ante una población mal informada, no informada o despreocupada. Por primera vez se comunicó el mensaje de forma masiva y en lenguaje popular no científico, la ciencia de la crisis del clima. Desde una perspectiva basada en la teoría de sistemas, tenían la intención de que la población mundial comenzara a atar los cabos de las evidencias que se observaban y que se experimentaban en diferentes ciudades y ecosistemas del Planeta como son los eventos extremos e irregulares del clima. El documental presenta imágenes impactantes en diferentes países del mundo; gráficas y datos científicos de cómo la



temperatura ha ido en ascenso desde la revolución industrial, en la segunda mitad del siglo XVIII, a la par con el ascenso en las emisiones de los gases que causan el efecto de invernadero y la huella ecológica del ser humano, sobre todo después de la Segunda Guerra Mundial en el siglo XX. Sin duda alguna, ambas iniciativas comenzaron una revolución educativa y de acción sin precedentes.

Sin embargo, Gore enfrentó mucha oposición. Lo desprestigiaron y criticaron. La mayor parte de las veces eran líderes influyentes del sector conservador estadounidense que aún se resisten a aceptar esta realidad y que lograron provocar —y siguen provocando— duda en un porcentaje considerable de la población. Luego de esta experiencia, entre el 2010 y el 2011, Gore le añadió la palabra *realidad* como adjetivo al nombre de la organización. Ahora es conocida como el Proyecto de la Realidad Climática para enfatizar los esfuerzos en ofrecer solo evidencia, hechos y verdad.

La misión del Proyecto de la Realidad Climática (TCRP, por sus siglas en inglés) es “catalizar una solución global a la crisis climática haciendo la acción urgente una necesidad a través de todos los niveles de la sociedad” (Climate Reality Project, s. f.).

¿Qué hace TCRP para lograr su misión?

- Educa y prepara una masa crítica de activistas que el TCRP llama Líderes de la Realidad Climática (*Climate Reality Leaders*) bajo su programa Cuerpo de Liderazgo de la Realidad Climática (*Climate Reality Leadership Corps*) para ayudar a transformar las políticas públicas existentes hacia unas que atiendan la crisis del clima con urgencia.
- Impulsa y suma apoyo para un compromiso mundial de reducción de las emisiones de gases que causan el efecto de invernadero. Sobre 90% de los científicos coinciden de que si no tomamos acción ahora, para finales del siglo la temperatura del planeta podría subir hasta 4° C o 39.2° F con consecuencias devastadoras para los ecosistemas y la vida en el planeta.
- Promueve la transformación a una economía de bajo carbono o de cero emisiones netas de carbono con nuevas tecnologías que usan fuentes renovables para generar energía limpia. También, fijando un precio de mercado o impuestos a las emisiones de carbono para que las corporaciones que usan combustibles fósiles paguen por las emisiones que generan. En otras palabras, que paguen por los impactos sociales y ambientales (las llamadas externalidades) de esta actividad contaminante.

El Primer Encuentro Latinoamericano en Ciudad de México en el 2009 tuvo el propósito de proveer adiestramiento a 300 latinoamericanos, por tres días, para convertirlos en Líderes de la Realidad Climática bajo el Cuerpo de Liderazgo de la Realidad Climática del TCRP. A cada participante, se le entregó un USB con las presentaciones educativas con integración de multimedios e imágenes del documental *Una verdad incómoda* y algunas publicaciones impresas. A partir de ese primer encuentro, todo participante tuvo la encomienda de diseminar en su país, la urgencia de actuar para evitar los cambios irreversibles que se esperan si no se toma acción a tiempo. Nos permite llevar un mensaje, con ejemplos, de lo que se puede hacer a nivel individual y colectivo. A través del TCRP, los participantes de aquel Encuentro también nos unimos a una red latinoamericana para intercambiar ideas, experiencias, datos y herramientas educativas, a través de la página web del TCRP. Además, la organización mantiene informada a sus integrantes sobre los acontecimientos importantes y de nueva información sobre el tema para ser utilizado como activistas y educadores.

Cualquier persona o grupo en el mundo puede solicitar una presentación educativa sobre el cambio climático para cualquier audiencia, a través de la página del TCRP. Según el país de procedencia de la solicitud, el TCRP se comunica con el Líder (o los líderes) de la Realidad Climática de ese país y coordinan la presentación con el solicitante. Desde que se fundó el TCRP, Gore y su equipo de trabajo han



ofrecido adiestramientos a voluntarios activistas en todos los continentes del mundo. También abrió sucursales internacionales del TCRP en Europa, África, Australia, Sur América (Brasil), Norte América (México y Canadá) e Indonesia.

Actualmente, el Cuerpo de Liderazgo de la Realidad Climática es una red global de sobre 7,800 activistas en 126 países, entre las edades de 9 a 87 años. Este cuerpo trabaja educando y apoderando las comunidades para que tomen acción. En Puerto Rico, existen 11 personas adiestradas bajo el TCRP y están disponibles para ofrecer presentaciones dirigidas al cambio climático ya sea para niños, jóvenes en las escuelas o universidades, o para adultos profesionales. Mi participación como activista, consiste en dar charlas para llevar el mensaje mayormente a maestros de escuelas, aunque la misma está dirigida para todo tipo de audiencia que pueda leer y entender el periódico.

La responsabilidad para lograr un cambio de paradigma en nuestra relación con la Tierra, como especie y consumidores de sus recursos, recae en los hombros de esta generación y las próximas tres generaciones más o menos, si aún no es demasiado tarde. Los niños y los jóvenes de hoy día, los que serán los líderes del futuro entre una a tres décadas, tendrán el gran desafío de desarrollar un modelo socioeconómico en armonía con la naturaleza y el ambiente, lo que las pasadas generaciones no pudieron lograr. Esta es la razón de mi pasión por educar a maestros y estudiantes, ya que el reto del cambio climático está en sus manos. Hay que dirigir esfuerzos para que el tema del cambio climático sea incluido como parte de la educación ambiental, en el currículo de las escuelas, desde el curso de español hasta las matemáticas, y en todos los niveles: elemental, intermedio y superior.

Aunque he llevado esta presentación educativa a un sinnúmero de grupos, incluyendo a una audiencia general de cerca de 300 personas en el centro comercial Plaza Las Américas, mis mejores recuerdos y mi mayor satisfacción, provienen de las presentaciones que he dirigido a maestros de escuelas, muchas veces acompañados de sus estudiantes. Desde el 2010, cerca de 500 participantes han sido impactados con las charlas a escuelas de la zona de metropolitana. A continuación, resumo las escuelas, el municipio y el número de participantes donde he dado las presentaciones (Tabla 1).

Tabla 1.

Participantes y escuelas impactadas con charlas sobre la realidad del cambio climático

Escuela	Municipio	Participantes
Escuela Comunidad Medardo Carazo	Trujillo Alto	42
Escuela Comunidad SU Inés María Mendoza de Caimito	San Juan	107
Escuela Manuela Toro Morice	Caguas	52
Escuela Margarita Janer Palacios	Guaynabo	59
Escuela University Garden, Río Piedras	San Juan	12
Escuela Manuel Elzaburu y Vizcarrondo de Península de Cantera	San Juan	23
The School of San Juan	San Juan	14
Escuela Superior Francisco Manrique Cabrera “Superior Rexville”	Bayamón	35
Maestros de varias escuelas: Día de las Ciencias 2012, Universidad Metropolitana, Cupey	Varios	25
Maestros de escuelas elementales en San Juan bajo el programa federal <i>No Child Left Behind</i> con el Consejo de Educación Superior	Varios	36
Maestros de ciencias zona metropolitana de San Juan Proyecto Geomodel de la UMET con la Fundación Nacional para las Ciencias	San Juan	8
Maestros Ecoescuelas, Organización Pro Ambiente Sustentable (OPAS)	Varios	84

La presentación invita a reflexionar sobre ¿Qué acciones puedo tomar? ¿Qué puedo hacer en mi escuela, con mis estudiantes? Esas son dos de las preguntas más comunes que hacen los maestros. Por eso, termino la presentación con acciones concretas que se pueden tomar como ciudadanos: cómo reducir su huella ecológica y de carbono con acciones sencillas en su hogares y escuelas, hasta la posibilidad de organizar un club ambiental estudiantil o unirse a grupo como el Sierra Club para activarse en las campañas de concienciación dirigidas a los políticos y la población en general. Mi mayor satisfacción al terminar las presentaciones es que, además de los maestros de ciencias, he podido llegar a maestros de otras disciplinas para comunicarles la urgencia de incluir el tema ambiental y del cambio climático en sus cursos. Sobre todo, saber que los dejo con un sinnúmero de ideas de cómo, ellos y sus estudiantes, pueden ser mejores ciudadanos.

¿Y qué hacer con los grupos difíciles de convencer a la acción o con los que desinforman por sus intereses económicos? En junio del 2010, participé en otro adiestramiento en Nashville, Tennessee. Además de compartir nueva información y datos, nos enseñaron técnicas de comunicación y persuasión con el propósito de interesar a los desinteresados y, sobre todo, enfrentar a los escépticos o los que niegan la crisis climática. La inmensa mayoría de estos últimos se debe al beneficio de las ganancias multimillonarias de las corporaciones que explotan los combustibles fósiles. Según la evidencia que Gore y sus asesores presentaron en Nashville, estas corporaciones pagan a pseudocientíficos y políticos para engañar y confundir a la ciudadanía. Siguen exactamente el mismo manual de estrategias que la industria del tabaco usó en el siglo pasado para desorientar al público sobre el efecto del tabaco en la salud y su correlación con el cáncer.

A través de múltiples herramientas multimedios, el TCRP promueve a que sus activistas se atrevan a cambiar el mundo. Es a través de dar forma y contenido a las conversaciones sobre la crisis climática en diferentes foros: desde el familiar durante una cena o el académico frente a un grupo de estudiantes en un salón de clase, hasta el de una sesión o plenaria en una cumbre internacional se puede lograr así, poco a poco, pero con prisa, se ha ido cimentando, levantando y fortaleciendo un movimiento con soluciones para el siglo XXI.

Nuestra labor de educación debe continuar. Para obtener más información de TCRP, acceda a <http://climateralityproject.org/>. Para el Cuerpo de Liderazgo de la Realidad Climática, acceda a <http://climateralityproject.org/leadership-corps>



MODELO DE ENSEÑANZA EN CAMBIO CLIMÁTICO Y CALIDAD DE AIRE EN ESCUELAS PÚBLICAS DE PUERTO RICO

María Calixta Ortiz, MSEM, Ph.D.¹ & Carlos Morales Agrinzoni, MSEM¹

Recibido 15 de octubre de 2015; Aceptado 30 de octubre de 2015

Resumen – La Escuela de Asuntos Ambientales de la Universidad Metropolitana implanta un Modelo de Enseñanza del Cambio Climático y Calidad de Aire titulado Climate Change and Improving Air Quality Teaching Model. El Modelo involucra estudiantes de maestría y maestros de ciencias de escuelas de nivel intermedio del sistema público en Puerto Rico. El objetivo es preparar académicamente al equipo de estudiantes y maestros en el dominio del tema del cambio climático, su efecto en la calidad de aire y cómo comunicar efectivamente estos temas técnicos a los estudiantes. El equipo desarrollará lecciones ambientales de cambio climático y calidad de aire utilizando los estándares de ciencias de nivel intermedio del Departamento de Educación de Puerto Rico. Además sentará las bases para el desarrollo de iniciativas sustentables en las escuelas de acuerdo a los principios de ecoescuelas.

Palabras clave: Modelo de enseñanza, ecoescuelas, cambio climático, calidad de aire, estándares de ciencia

Abstract – The School of Environmental Affairs of Universidad Metropolitana implements a teaching model known as Climate Change and Improving Air Quality Teaching Model. The model involves master-level graduate students and junior high school science teachers from the public school system in Puerto Rico. The objective is to prepare the teams of students and teachers to academically master the topic of climate change, its impact on air quality, and how to effectively communicate these technical issues to students. The teams develop environmental lessons on climate change and air quality using the Puerto Rico Department of Education science standards. In addition, the team will lay the foundation for the development of sustainable initiatives in each school, according to eco-schools principles.

Key words: Teaching model, eco-schools, climate change, quality air, science standards

Introducción

El cambio climático es considerado como uno de los mayores desafíos de la actualidad. La evidencia muestra que están ocurriendo cambios en la temperatura de la superficie de la tierra, en el vapor de agua en la atmósfera, en la lluvia, en los fenómenos severos, cambios en los glaciares, en la acidez de los océanos y en el nivel del mar (Panel Intergubernamental en Cambio Climático [PICC], 2007). Estos cambios se han documentando estadísticamente al mostrar diferencias significativas en el promedio de los indicadores mencionados, según el análisis en periodos de décadas o siglos.

¹ Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928. Email: um_mortiz@suagm.edu; cmorales@suagm.edu

Las amenazas del cambio climático más apremiantes son los eventos extremos, como las inundaciones, sequías, olas de calor e inundaciones costeras. Estos eventos serán más perceptibles en las áreas urbanas debido a su ubicación, concentración de personas y localización de la infraestructura de los servicios básicos como el agua potable, sistema de alcantarillado sanitario y distribución de energía, entre otros. Sin embargo, lo más desafiante es que muchos ciudadanos no conocen cómo van a enfrentar los impactos del cambio climático sobre la salud humana.

El cambio climático puede traer efectos sobre la calidad del aire y esto a su vez sobre la salud respiratoria de las poblaciones afectadas. Las fuentes incluyen principalmente la producción de alérgenos producto del aumento en temperaturas, aumento en precipitación y de las concentraciones regionales de ozono, el bióxido de carbono, las partículas finas y el polvo que afectan mayormente las poblaciones más sensibles como niños y ancianos (Environmental Health Perspectives & the National Institute of Environmental Health Sciences, 2010).

Modelo de enseñanza

Para comenzar a atender estos retos, desde agosto 2015, la Escuela de Asuntos Ambientales (EAA) de la Universidad Metropolitana desarrolla un Modelo de Enseñanza del Cambio Climático y Calidad de Aire titulado *Climate Change and Improving Air Quality Teaching Model* (Figura 1) subvencionado por el Programa de Educación Ambiental de la Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés).



Figura 1. Modelo de enseñanza en cambio climático y calidad de aire.

Fase de reclutamiento

El equipo de trabajo para implantar el modelo de enseñanza fue constituido por medio de una convocatoria a estudiantes del programa graduado de la Escuela de Asuntos Ambientales, quienes debían someter una solicitud y ensayo escrito sobre el interés en el proyecto y conocimiento en el tema de cambio climático. Por medio de entrevistas y una rúbrica, calibramos los criterios de interés, conocimiento y disponibilidad para trabajar en escuelas. El equipo quedó constituido por 5 estudiantes bajo las maestrías en Conservación y Manejo de Recursos Naturales, Evaluación y Manejo de Riesgo Ambiental y Planificación ambiental, y 10 maestros de ciencias de escuelas de nivel intermedio del sistema público en Puerto Rico. Las escuelas estaban previamente seleccionadas según un acuerdo escrito y requerido para la aprobación de la propuesta. Las 10 escuelas están ubicadas en los municipios de Carolina, Cataño, Corozal, Bayamón, Comerío, Ponce, Guayama y San Juan (Figura 2). El objetivo es preparar académicamente al equipo de estudiantes y maestros en el tema del cambio climático, su efecto en la calidad de aire y cómo comunicar efectivamente estos temas técnicos a los estudiantes de nivel intermedio.



Figura 2. Localización de las escuelas intermedias seleccionadas en Puerto Rico. 1= Escuela Juan Ponce de León, San Juan; 2 = Escuela Jesús T. Piñero, Carolina; 3= Escuela Juan Ramón Jiménez, Bayamón; 4= Escuela Onofre Carballeira, Cataño; 5= Escuela Luis Muñoz Marín, Comerío; 6= Escuela Ramón Alejandro, Comerío; 7= Escuela Superior Agrícola-Vocacional, Corozal; 8= Escuela Genaro Cautiño, Guayama; 9= Escuela Lila Mayoral Wirshing, Ponce; 10= Escuela Juan Serrallés, Ponce.

Fase de adiestramiento (Academia sabatina)

Al momento, hemos completado la fase de adiestramiento a estudiantes y maestros con talleres en temas de cambio climático, impacto en la calidad de aire y la salud y comunicación efectiva, dictados por el Dr. Pablo Méndez Lázaro, investigador y especialista en cambio climático del Recinto de Ciencias Médicas de

la Universidad de Puerto Rico. Así también, el equipo completó los talleres de cómo integrar el tema de cambio climático en el currículo de nivel intermedio, dictados por la Dra. Itzia Nieves, especialista en currículo y enseñanza de la Universidad Metropolitana.

Por su parte, la gerente ambiental Mayrelis Narváez, coordinadora para Puerto Rico del Programa Eco-escuelas de la Organización Pro Ambiente Sustentable (OPAS), orientará al equipo sobre los estándares y criterios que requiere la Fundación para la Educación Ambiental (FEE) para convertirse en una ecoescuela con el galardón de Bandera Verde. Entre los criterios de ecoescuelas, se encuentran formar Comité Ambiental, tener un Plan de Acción en temas básicos (agua, energía y residuos) y temas generales anuales, para concienciar el centro escolar y su entorno (Foundation for Environmental Education, 2014). Cada escuela recibirá una cantidad nominal para la compra de materiales que garanticen la ejecución del plan de trabajo.

Fase de enseñanza en equipo

Ya preparados en el tema de cambio climático, el equipo se reúne periódicamente para preparar un plan de trabajo para cada escuela y llevar estos contenidos a la población escolar durante el semestre de enero a mayo 2016. Desarrollarán lecciones ambientales en cambio climático y calidad de aire utilizando los estándares de ciencias de nivel intermedio del Departamento de Educación para implantarlas en los salones de clases. Además, incorporarán el patio escolar como área de laboratorio para la discusión de los temas y actividades de investigación prácticas. El último fin será preparar a las escuelas seleccionadas para que soliciten al Programa Ecoescuelas y logren a través de las iniciativas de los estudiantes, maestros y comunidad escolar el galardón de Bandera Verde.

Fase de evaluación (Academia de verano)

En la última fase, evaluaremos el impacto del programa. Para estos efectos, sometimos un protocolo de evaluación a la Oficina de Cumplimiento del Sistema Ana G. Méndez. El protocolo fue aprobado con el número 01-525-15. La recogida de datos determinará el logro de los objetivos del proyecto. Se espera que tanto los estudiantes graduados como los maestros aumenten su nivel de conocimiento en el tema de cambio climático. Así también que la población escolar atendida de nivel intermedio pueda entender los conceptos de una forma clara e integradora, más allá de lo que se publica a través de la ciencia popular. El desarrollo de lecciones ambientales, su implantación y la publicación de una guía con las mejores prácticas en el tema son parte de los resultados esperados. Una actividad de cierre en el verano evidenciará los productos e impacto del proyecto.

Este tipo de experiencias permiten en el estudiante graduado el desarrollo de destrezas de comunicación, análisis e integración que facilitan una comunicación efectiva sobre los temas científico-ambientales. Además, los hace partícipe en la búsqueda de soluciones y estrategias que promuevan un mejor currículo escolar que atienda las necesidades actuales de la sociedad.

Referencias

Environmental Health Perspectives, & the National Institute of Environmental Health Sciences. (2010). *A human health perspective on climate change: A report outlining the research needs on the human health effects of climate change*. Recuperado de http://www.niehs.nih.gov/health/materials/a_human_health_perspective_on_climate_change_full_report

Foundation for Environmental Education. (2014). *Eco-schools. Engaging the youth of today to protect the climate of tomorrow*. Recuperado de <http://www.ecoschools.global/>

Panel Intergubernamental en Cambio Climático. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Recuperado de http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS ENFERMEDADES INFECCIOSAS

Christian Vélez-Gerena, MSEM¹

Recibido 26 de agosto de 2015; aceptado 15 de octubre de 2015

Resumen – El cambio climático y su posible impacto sobre la salud es un tópico muy discutido por la comunidad científica. Varios grupos investigan la posible relación entre el clima y las enfermedades. En años recientes se han documentado cambios en la distribución y el hábitaculo de vectores de enfermedades infecciosas. Estos cambios incluyen la migración hacia áreas previamente protegidas por temperaturas frías que limitan la distribución de vectores. Enfermedades como la malaria, chikungunya, dengue y el virus del Nilo han causado brotes que han sido relacionados a la variabilidad climática. El reto del cambio climático y los posibles efectos que promueven enfermedades sobre la salud humana serán un tópico para discusión en el futuro.

Palabras clave: Cambio climático, enfermedades infecciosas, dengue, malaria, chikungunya

Abstract – Climate change and its possible impacts on human health has been a widely discussed topic by the scientific community. Current research is studying the effects on the possible relationship between climate variability and disease. In recent years, changes in disease vector distribution and habitat related to temperature have been documented, specially in arthropods such as mosquitoes. These changes include migration into areas previously protected by factors such as temperature limiting vector ranges. Diseases such as malaria, chikungunya, dengue, and West Nile virus have caused outbreaks that have been related to climate effects. The complexity and challenges of climate change and its possible effects on human health will be a topic for discussion in the near future.

Key words: Climate change, infectious disease, dengue, malaria, chikungunya

Introducción

Se estima que desde el comienzo de la revolución industrial en siglo XIV ha aumentado 30 veces el consumo de combustibles fósiles (Houghton, 2009). Estos combustibles hacen posible la vida moderna con sus lujos y conveniencias, pero su uso desmedido trae efectos adversos. La liberación de óxidos de azufre, nitrógeno, material particulado y bióxido de carbono, producto de la combustión, son contribuyentes a fenómenos como lluvia ácida y el efecto de invernadero. Este efecto de invernadero, está basado en la retención de la energía y luz solar en las capas inferiores de la atmósfera causado por el bióxido de carbono y vapor de agua, entre otros gases (Last, Trouton, & Pengelly, 1998; Barker, 2007).

¹ Laboratorio de Química Ambiental y Toxicología Molecular, Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan PR, 00928-1150. Email: c_vez@suagm.edu

En los últimos 25 años, la comunidad científica ha calculado posibles efectos en el clima causados por el calentamiento global. Entre los efectos climáticos documentados en el informe del Panel Intergubernamental de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Solomon et al., 2007) se encuentran:

- Evidencia que demuestra que entre 1995 al 2006 fueron los 12 años con temperaturas superficiales más elevadas en la historia
- El vapor de agua atmosférico ha incrementado desde los años 80
- Aumento en precipitación en América, Europa y Asia central
- Incremento en eventos de precipitación copiosa
- Cambios en los extremos en temperaturas (reducción en días fríos mientras aumentan los días calientes y ondas de calor)
- Aumentos en la actividad ciclónica desde 1970

Este artículo expone una revisión de literatura sobre estudios de cómo el cambio climático ha sido relacionado con el aumento de casos en enfermedades infecciosas. Algunas de estas áreas de investigación han propuesto relaciones entre el clima y los modos de transmisión, y sus vectores.

Enfermedades transmitidas por mosquitos

Las enfermedades cuyo vector es el mosquito son causantes de preocupación en países donde el ciclo de vida de estos insectos puede ser afectado por la variabilidad en el clima. Entre las enfermedades transmitidas por mosquitos están algunas de las más temidas para los países en desarrollo como: malaria, fiebre amarilla, chikungunya y dengue, entre otras. Estos insectos adquieren microorganismos patógenos al ingerir la sangre de una persona u otro animal infectado. La malaria y el dengue son dos ejemplos de enfermedades en las cuales se ha documentado el efecto directo de la temperatura sobre la transmisión de la enfermedad. En ambos casos, el aumento en la temperatura puede acelerar la maduración, causar cambios en el comportamiento, y aumentar la replicación del mosquito *Anopheles*, vector de la malaria y del mosquito *Aedes*, vector del dengue (Gubler et al., 2001; Tun-Lin, Burkot, & Kay, 2000).

El aumento de la temperatura puede ampliar el hábitat del vector a áreas donde previamente estaba limitado por el frío. El impacto de estas dos enfermedades tiene repercusiones cuantiosas. Se estima que ocurren 350 – 500 millones de casos de malaria (causada por el protozooario parásito del género *Plasmodium*) mundialmente con un total de 1 a 3 millones de muertes anuales (CDC, 2007). En el caso del dengue, la Organización Mundial de la Salud estima en 50 millones de casos con 22,000 muertes anuales (Phillips, 2008).

Otros factores además del calor pueden afectar la incidencia de estas enfermedades. Las sequías o inundaciones de variada intensidad que acompañan el

cambio climático promueven la reproducción de los mosquitos al proveer el medio esencial para completar su ciclo de vida. Esto puede ocurrir por varias razones como: mayor cantidad de agua disponible en tiempos lluviosos y concentración de fuentes de agua durante sequía, además del aumento en envases para recoger agua, un fenómeno muy común durante sequías que ayuda a la supervivencia. En países del continente Africano como Kenya se ha encontrado una relación entre el aumento en precipitación, altas temperaturas y la incidencia en malaria (Githeko & Ndegwa, 2001). Mientras en Nigeria y Senegal se encuentra el fenómeno opuesto, donde las sequías traen una disminución en los casos de malaria (Julvez, Mouchet, Michault, Fouta, & Hamidine, 1997).

Según los estudios, la malaria está apareciendo en otros lugares lejos de los trópicos (Githeko, Lindsay, Confalonieri, & Patz, 2000). En lugares como el norte de Europa, se ha documentado la expansión del hábitat de los mosquitos vectores de la malaria hacia las montañas Urales a razón de 30 Km. anuales (Novikov & Vaulin, 2014), lo cual expone vastas áreas a la migración de los mosquitos vectores previamente protegidas por el frío. En América del Sur se ha relacionado cambios en patrones de la malaria con las variaciones climáticas asociadas a eventos como El Niño (Githeko et al., 2000). En las últimas décadas del siglo XX en las cuales se registraron algunas de las temperaturas más altas del siglo en los Estados Unidos, se han detectado brotes locales de malaria en estados del norte como Michigan, New York y en la ciudad Canadiense de Toronto (Epstein, 2000).

Además de la malaria, los científicos estudian otro grupo de enfermedades transmitidas por mosquitos y causadas por virus. Estas condiciones incluyen al chikungunya (*Alphavirus*, fam. *Togaviridae*), virus del Nilo (*Flavivirus*, fam. *Flaviviridae*), fiebre del Valle Rift (*Phlebovirus*, fam. *Bunyaviridae*) y el virus de la lengua azul o fiebre aftosa (*Orbivirus*, fam. *Reoviridae*). Estos virus han causado epidemias en América del Norte, El Caribe, África, Europa y la península Arábiga. La combinación de actividades humanas como el comercio, disposición de los desechos comunes y la posible alteración de los patrones climáticos han causado un aumento en focos de infección por arbovirus incluyendo el caso de chikungunya, y su introducción en América, el norte de Italia, islas del Océano Indico y Asia (Gould & Higgs, 2009).

El occidente ha sido el escenario de algunos de los eventos epidémicos más conocidos públicamente que han sido relacionados al cambio climático. El primero en causar preocupación al final del siglo XX fue el virus del Nilo en Los Estados Unidos. En partes de África, Europa y Asia este virus circula transmitido por mosquitos del género *Culex* entre poblaciones de aves y equinos (Gould, de Lamballerie, Zanotto, & Homes, 2003). En 1999 ocurrió el primer brote significativo en el estado de New York donde ocurrieron 69 casos de meningoencefalitis con siete fatalidades. Estudios genéticos han demostrado que el virus introducido en América probablemente proviene de aves importadas desde Israel (Gould & Higgs, 2009).

Se estima que las condiciones climáticas inusuales de 1999 fueron claves para promover el brote del virus del Nilo. Se ha sugerido el siguiente escenario: el invierno relativamente cálido de 1998 permitió la sobrevivencia de un número alto de mosquitos hasta la primavera, la cual llegó temprano. Un verano de sequía concentró agua y nutrientes en las áreas donde se reproducen los mosquitos; simultáneamente la escasez de agua redujo depredadores de los mosquitos y concentró las aves cerca de las fuentes de agua. Una vez el mosquito adquiere el virus, su maduración dentro de las aves es ayudado por la ola de calor que ocurrió ese verano. Estos mosquitos infectados con el virus de las aves propagaron el virus en personas sanas causando el brote de la enfermedad (Epstein, 2000).

Por su parte, la fiebre del dengue tiene una presencia mundial en países tropicales donde se encuentra el mosquito vector. Es conocida desde 1870 en la India, pero solo después de la Segunda Guerra Mundial se ha documentado su avance hasta el Océano Pacífico (Phillips, 2008). Ambas especies del género *Aedes* (*Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*) se encuentran en las Américas, pero curiosamente *A. aegypti* resulta ser el vector más relacionado con brotes a gran escala.

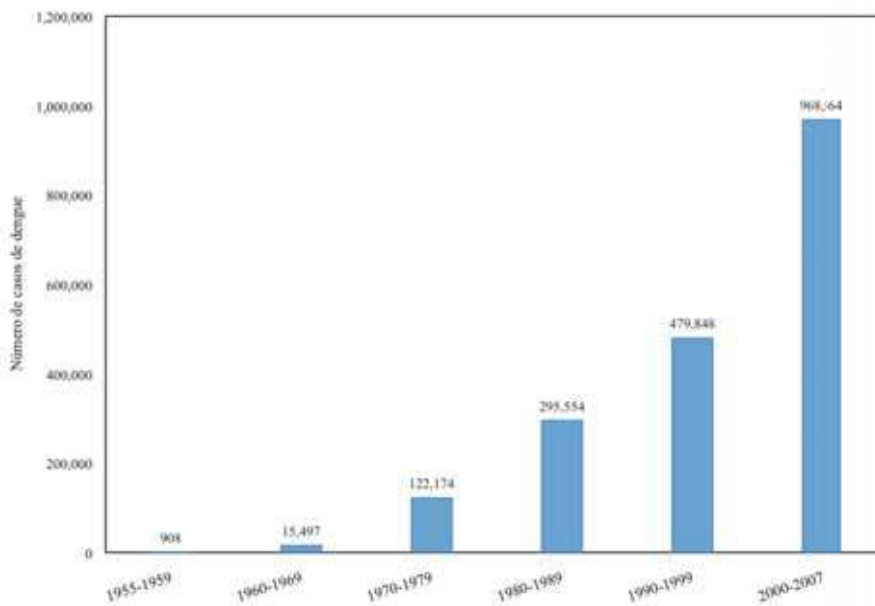


Figura 1. Casos históricos del dengue a nivel mundial (Datos Organización Mundial de la Salud, 2002).

En las Américas, los esfuerzos para eliminar el mosquito (también vector de la fiebre amarilla) trajeron una reducción drástica en los números de estos insectos. Para la década de los 70, la limitación por efectos adversos al ambiente del uso del insecticida DDT y la suspensión de los esfuerzos de erradicación han permitido que el mosquito reconquiste las áreas previamente libres de su presencia. Varios modelos relacionan la presencia de los mosquitos con variación climática y sugieren la posibilidad de expansión al norte y al sur de las Américas (Campbell et al., 2015).

Actualmente en nuestro continente, el dengue es un problema de salud pública serio y causa costos estimados en \$2.1 billones anuales (Shepard, Coudeville, Halasa, Zambrano, & Dayan, 2011). En los Estados Unidos se han documentado brotes de esta enfermedad en Florida, Hawái, los estados fronterizos con Méjico, la costa del golfo, los territorios del Pacífico y del Caribe incluyendo Puerto Rico (Añez & Ríos, 2013). En Puerto Rico los costos causados por esta enfermedad son de \$38.7 millones anualmente (Halasa, Shepard, & Zeng, 2012). Existe evidencia sobre brotes documentados en la Isla desde 1963 hasta comienzos del presente siglo (Rigau-Pérez, Vorndam, & Clark, 2001). Estudios recientes han propuesto la posible relación entre fluctuaciones en brotes relacionados con cambios en precipitación y baja presión sobre la Florida, la cual provoca aumento en humedad durante epidemias del dengue (Jury, 2008). Otros estudios sugieren influencias críticas sobre la extensión temporal y espacial del dengue (Tabla 1).

Tabla 1

Estudios sobre la relación entre variables climáticas y el dengue en Puerto Rico, según Morin, Comrie, & Ernst (2013)

Fuente	Lugar	Diseño/análisis	Asociación climática
Barrera et al. (2011)	Puerto Rico	Longitudinal	Precipitación
Johanson et al. (2009)	Puerto Rico	Regresión	Temperatura, precipitación
Jury (2008)	Puerto Rico	Estadística múltiple	Temperatura, precipitación
Keating (2001)	Puerto Rico	Regresión lineal	Temperatura
Schreiber (2001)	Puerto Rico	Regresión multivariada	Temperatura, energía, humedad

Otra enfermedad transmitida por mosquitos que ha conquistado las Américas tropicales es el virus de chikungunya. Esta fiebre muy similar al dengue se conoce oficialmente por la medicina moderna desde el 1952 en la nación Africana de Tanzania durante un brote en la tribu Makonde. Su nombre en este lenguaje significa “aquello que se dobla” en referencia a las contorsiones sufridas por los pacientes

causadas por el dolor en las articulaciones (Meason & Paterson, 2014). Su avance a través de Asia hasta las islas del Pacífico fue documentado llegando al sureste de Asia en 2003, y finalmente documentado en el Caribe en 2013 (Sharp et al., 2014). Varias hipótesis sobre este aumento en casos y distribución han surgido como mutaciones que aumentan la virulencia y afinidad por el nuevo vector *A. albopictus* (Mishra & Ratho, 2006). Este mosquito es común en áreas urbanas y rurales mientras *A. aegypti* prefiere ambientes urbanos. Durante las sequías, la práctica de almacenar agua promueve lugares ideales para la reproducción de los vectores como ocurrió en el brote de Kenia en el 1998, luego de una sequía de 8 años (Meason & Paterson, 2014), lo cual sugiere una relación estrecha con la precipitación.

Enfermedades transmitidas por roedores

Además de los mosquitos, otros vectores oportunistas han utilizado la variabilidad climática para reproducirse de forma inusual y a su vez causar brotes de enfermedades. En la década de los 90, luego del evento del niño (ENSO, por sus siglas en inglés) surgió en el oeste de los Estados Unidos otra enfermedad transmitida por roedores: el hantavirus. Esta enfermedad respiratoria puede transmitirse de los roedores hasta los humanos por medio de las secreciones y excreciones del ratón venado *Peromyscus maniculatus* (Yates et al., 2002). Otros eventos de lluvia en América del sur causaron eventos similares en Panamá (Williams et al., 1997) y Paraguay (Ruedas et al., 2004). Estos eventos de precipitación inusual seguido de aumento en población de vectores también han sido relacionados con casos de la peste bubónica (*Yersinia pestis*, transmitida por pulgas), lo cual hace evidente un ciclo entre precipitación y aumentos en población de los vectores.

Varios factores climáticos se combinaron para dar lugar al brote de hantavirus. Previo a la explosión en los números de roedores vectores ocurrió una sequía regional, la cual redujo el número de depredadores para los roedores. El aumento inusual de lluvia trajo un incremento en las fuentes de alimentos para los ratones esto causó un aumento en la población de roedores infectados por el virus. El año siguiente, ocurrió otra sequía que causó que los ratones buscaran refugio en los hogares que expusieron a residentes a desechos infecciosos de los ratones. Hoy día los brotes de hantavirus son limitados por mejores sistemas de monitoreo y prevención en los Estados Unidos, pero no en Latinoamérica donde han ocurrido varios brotes (Pini, 2004).

Enfermedades transmitidas por bacterias

Los cambios extremos en la temperatura, frecuencia y cantidad de lluvias atribuidos al cambio climático, han sido vinculados con la ocurrencia de enfermedades infecciosas transmitidas a través del agua (Herrador et al., 2015). La precipitación excesiva puede causar la transportación de los patógenos a través de un ecosistema movilizándolos hacia los cuerpos de agua y pozos (Semenza & Menne, 2009).

Además puede causar cambios hidráulicos en cuerpos de agua y la alteración del funcionamiento de plantas de tratamiento, las cuales podrían contaminar un cuerpo de agua (Cann, Thomas, Salmon, Wyn-Jones, & Kay, 2013). Se han documentado eventos de contaminación de los abastos de agua luego de inundaciones, lo cual provoca brotes de enfermedades como campylobacteriosis (*Campylobacter spp.*), salmonelosis (*Salmonella spp.*), cryptosporidiosis (*Cryptosporidium spp.*) y Norovirus (Semenza et al., 2012). Otros estudios han relacionado el evento de El Niño con brotes a gran escala de cólera (causado por la bacteria *Vibrio cholerae*), la cual prolifera más rápido al aumentar la temperatura. Algunos pronósticos esperan que aumente la prevalencia de esta enfermedad con el aumento en temperaturas (Lipp, Huq, & Colwell, 2002). Por otra parte, las sequías pueden reducir el volumen de un cuerpo de agua concentrando patógenos que normalmente serían diluidos (Senhorts & Zwolsman, 2005).

Consideraciones finales

Indudablemente la evidencia científica publicada sugiere o pronostica que la variabilidad climática causará alteraciones en los ciclos de vectores de enfermedades infecciosas. Muchos factores contribuyen a fomentar los brotes de enfermedades como: las condiciones sociales de un país, el nivel de pobreza, escolaridad, la preparación de las autoridades para manejar desastres naturales y la infraestructura de servicios básicos y su mantenimiento. Dos tipos de estrategias son practicadas para responder a los cambios climáticos: la mitigación y la adaptación. La mitigación se busca reducir las causas del cambio climático como los gases de invernadero mediante política pública o tecnología de control, conservación de áreas verdes y producción de fuentes energéticas con menos contribución de contaminantes.

El principio de adaptación propone minimizar los efectos a la salud pública de estos cambios en el clima. La preparación para eventos como tormentas y el manejo apropiado de recursos e identificación de poblaciones en riesgo puede reducir la mortalidad y morbilidad (Patz, Grabow, & Limaye, 2014). La modernización de sistemas de vigilancia puede detectar brotes de enfermedades infecciosas en etapas tempranas lo cual mejora la respuesta y el manejo de recursos dirigidos a controlar los brotes. El tema del cambio climático y sus posibles efectos es uno que todavía está siendo debatido en los medios y la comunidad científica. Ciertamente la evidencia a favor de la existencia de este fenómeno aumenta a diario. No obstante, el punto de vista que se pueda tener sobre la veracidad del fenómeno, los cambios sugeridos para evitarlo en nuestra manera de actuar como sociedad por ejemplo la reducción en la contaminación, mejorar infraestructura básica, establecer una política pública flexible consiente al medio ambiente tomando en cuenta las necesidades de todos los sectores sociales solo puede verse como un beneficio a la sociedad y un valioso regalo a futuras generaciones.

Agradecimientos

El autor agradece las valiosas sugerencias de la Dra. Luz Silva y la Prof. Marla Barrios.

Literatura citada

- Añez, G., & Ríos, M. (2013). Dengue in the United States of America: A worsening scenario? *BioMed Research International*, 1-13. doi:10.1155/2013/678645
- Barker, T. (2007). Climate change 2007: An assessment of the intergovernmental panel on climate change. *Change*, 446, 12–17. doi:10.1256/004316502320517344
- Campbell, L. P., Luther, C., Moo-Llanes, D., Ramsey, J. M., Danis-Lozano, R., & Peterson, A. T. (2015). Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors. *Philosophical Transactions of the Royal Biological Science*, 370 doi:10.1098/rstb.2014.0135
- Cann, K. F., Thomas, D. R., Salmon, R. L., Wyn-Jones, A. P., & Kay, D. (2013). Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiology and Infection*, 141(4), 1–16. doi:10.1017/S0950268812001653
- Centers for Disease Control and Prevention (2007). Malaria facts. Recuperado de <http://www.cdc.gov/malaria/about/facts.html>.
- Epstein, P. R. (2000). Is global warming harmful to health? *Scientific American*, 283(2), 50–57. doi:10.1038/scientificamerican0800-50
- Githeko, A. K., Lindsay, S. W., Confalonieri, U. E., & Patz, J. A. (2000). Climate change and vector-borne diseases: A regional analysis. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9), 1136–1147. doi:10.1590/S0042-9686200000900009
- Githeko, A. K., & Ndegwa, W. (2001). Predicting malaria epidemics in the Kenyan highlands using climate data: a tool for decision makers. *Global Change Hum Health*, 2(1), 54–63. Recuperado de http://r4d.dfid.gov.uk/PDF/Articles/Githeko_and_Ndegwa_Epidemic_prediction2.pdf
- Gould, E. A., de Lamballerie, X., Zanotto, P. M., & Holmes, E. C. (2003). Origins, evolution, and vector/host coadaptations within the genus *Flavivirus*. *Advances in Virus Research*, 59, 277–314. doi:10.1016/S0065-3527(03)59008-X
- Gould, E., & Higgs, S. (2009). Impact of climate change and other factors on emerging arbovirus diseases. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 103(2), 109–121. doi: 10.1016/j.trstmh.2008.07.025.

- Gubler, D. J., Reiter, P., Ebi, K. L., Yap, W., Nasci, R., & Patz, J. A. (2001). Climate variability and change in the United States: Potential impacts on vector and rodent-borne diseases. *Environmental Health Perspective*, 109(2), 223–233. Recuperado de <http://ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/2001/suppl-2/223-233gubler/abstract.html>
- Halasa, Y. A., Shepard, D. S., & Zeng, W. (2012). Economic cost of dengue in Puerto Rico. *The American Journal of Tropical Medicine Hygiene*, 86(5), 745–752. doi:10.4269/ajtmh.2012.11-0784.
- Herrador, B.R., de Blasio, B. F., MacDonald, E., Nichols, G., Sudre, B., Vold, L., Semenza, J.C., & Nygard, K. (2015). Analytical studies assessing the association between extreme precipitation or temperature and drinking water-related waterborne infections: a review. *Environmental Health*, 14, 29. doi:10.1186/s12940-015-0014
- Houghton, J. (2009). *Global warming: The complete briefing*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Julvez, J., Mouchet, J., Michault, A., Fouta, A., & Hamidine, M. (1997). The progress of malaria in Sahelian eastern Niger. An ecological disaster zone. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, 90(2), 101–104. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9289244>
- Jury, M. R. (2008). Climate influence on dengue epidemics in Puerto Rico. *International Journal of Environmental Health Research*, (5), 323–34. doi:10.1080/09603120701849836.
- Last, J., Trouton, K., & Pengelly, D. (1998). *Climate of change: Taking our breath away: the health effects of air pollution and climate change*. Recuperado de http://www.davidsuzuki.org/publications/downloads/1998/healthFULL_eng.pdf
- Lipp, E., Huq, A., & Colwell, R. (2002). Effects of global climate on infectious disease: The Cholera model. *Clinical Microbiology Reviews*, 15(4), 757–770. doi:10.1128/CMR.15.4.757-770.2002
- Meason, B., & Paterson, R. (2014). Chikungunya, climate change, and human rights. *Health and Human Rights Journal*, 16(1), 105–112. Recuperado de <http://www.hhrjournal.org/wp-content/uploads/sites/13/2014/06/Meason.pdf>
- Mishra, B., & Ratho, R. K. (2006). Chikungunya re-emergence: possible mechanisms. *Lancet*, 368(9539), 918. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16962879>

- Morin, C. W., Comrie, A. C., & Ernst, K. (2013). Climate and dengue transmission: Evidence and implications. *Environmental Health Perspectives*, 121(11), 1264–1272. doi:10.1289/ehp.1306556
- Novikov, Y. M., & Vaulin, O. V. (2014). Expansion of *Anopheles maculipennis* s.s. (Diptera: Culicidae) to Northeastern Europe and Northwestern Asia: Causes and Consequences. *Parasites & Vectors*, 7(1), 389. doi:10.1186/1756-3305-7-389
- Patz, J. A., Grabow, M. L., & Limaye, V. S. (2014). When it rains, it pours: Future climate extremes and health. *Annals of Global Health*, 80(4), 332–344. doi:10.1016/j.aogh.2014.09.007
- Phillips, M. L. (2008). Dengue reborn: Widespread resurgence of a resilient vector. *Environmental Health Perspectives*, 116(9), 382–388. doi:10.1289/ehp.116-a382
- Rigau-Perez, J. G., Vorndam, A. V., & Clark, G. C. (2001). The dengue fever epidemic in Puerto Rico, 1994–95. *The American Journal of Tropical Medicine Hygiene*, 64(1):67–74.
- Pini, N. (2004). Hantavirus pulmonary syndrome in Latin America. *Current Opinion Infectious Diseases*, 17(5), 427–31. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15353962>
- Ruedas, L. A., Salazar-Bravo, J., Tinnin, D. S., Armien, B., Caceres, L., Garcia, A., . . . Mills, J. N. (2004). Community ecology of small mammal populations in Panama following an outbreak of Hantavirus pulmonary syndrome. *Journal of Vector Ecology*, 29(1), 177–191.
- Semenza, J., & Menne, B. (2009). Climate change and infectious diseases in Europe. *Lancet Infectious Diseases*, 9(6), 365–75. doi: 10.1016/S1473-3099(09)70104-5.
- Semenza, J. C., Herbst, S., Rechenburg, A., Suk, J. E., Höser, C., Schreiber, C., & Kistemann, T. (2012). Climate change impact assessment of food- and waterborne diseases. *Critical Reviews in Environmental Science & Technology*, 42(8), 857–890. doi:10.1080/10643389.2010.534706
- Senhorst, H. A. J., & Zwolsman, J. J. G. (2005). Climate change and effects on water quality: a first impression. *Water Science and Technology*, 51(5), 53–59.
- Sharp, T. M., Roth, N. M., Torres, J., Ryff, K. R., Rodríguez, N. M. P., Mercado, C., . . . García, R. B. (2014). Chikungunya cases identified through passive surveillance and household investigations — Puerto Rico. *Mortality and Morbidity Report*, 63(48), 1121–1128. Recuperado de <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6348a1.htm>

- Shepard, D. S., Coudeville, L., Halasa, Y.A., Zambrano, B., & Dayan, G. H. (2011). Economic impact of dengue illness in the Americas. *The American Journal of Tropical Medicine Hygiene*, 84(2), 200–207. doi: 10.4269/ajtmh.2011.10-0503.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., . . . Miller, H. L. (2007). *Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 996. Recuperado de https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html
- Tun-Lin, W., Burkot, T. R., & Kay, B. H. (2000). Effects of temperature and larval diet on development rates and survival of the dengue vector *Aedes aegypti* in north Queensland, Australia. *Medical and Veterinary Entomology*, 14(1), 31–37. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10759309>
- Williams, R. J., Bryan, R. T., Mills, J. N., Palma, R. E., Vera, I., De Velásquez, F., . . . Ksiazek, T. G. (1997). An outbreak of hantavirus pulmonary syndrome in western Paraguay. *The American Journal of Tropical Medicine Hygiene*, 57(3), 274–282. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9311636>
- World Health Organization. (2002). Impact of dengue. Recuperado de <http://www.who.int/csr/disease/dengue/impact/en/>
- Yates, T. L., Mills, J. N., Parmenter, C. A., Ksiazek, T. G., Parmenter, R. R., Vande, C. J. R., . . . Peters, C. J. (2002). The ecology and evolutionary history of an emergent disease: hantavirus pulmonary syndrome. *Bioscience*, 52(11), 989–998. doi:10.1641/0006-3568(2002)052[0989:TEAEHO]2.0.CO;2

CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO, ESTRÉS OXIDATIVO E INFLAMACIÓN

Rosa I. Rodríguez-Cotto, Ph.D.^{1,2}

Recibido 21 de junio de 2015; aceptado 21 de septiembre de 2015

Resumen – La contaminación por partículas surge de las actividades antropogénicas y por eventos naturales tales como: incendios forestales, las cenizas volcánicas y las tormentas de polvo. El material particulado entra en el sistema respiratorio y puede causar alergias, inflamación pulmonar y enfermedades cardiovasculares. La isla de Puerto Rico, que se encuentra en el Caribe, recibe cenizas del volcán Soufriere y partículas de las tormentas de polvo africano y producto de los incendios forestales locales y distantes (Venezuela). Los datos recogidos en la Isla muestran un aumento de tres veces de partículas ≤ 10 micrones (PM₁₀) y de cinco veces de partículas $\leq 2,5$ micrones (PM_{2.5}) a la llegada de estos fenómenos. Las células epiteliales bronquiales humanas expuestas a muestras ambientales recogidas en la Isla durante una tormenta de polvo africano demostraron una activación de moléculas relacionadas con respuestas antioxidantes e inflamatorias. Los puertorriqueños tienen casi tres veces la tasa de asma de la población hispana en general. Los funcionarios de salud de la Isla sospechan que los factores ambientales son en parte responsables de desencadenar esta enfermedad. Sin embargo, se necesita un sistema de información integrado de los cambios atmosféricos en Puerto Rico con el fin de identificar los componentes específicos que desempeñan un papel clave en el desarrollo de esta enfermedad respiratoria.

Palabras clave: Material particulado, cenizas volcánicas, incendios forestales, polvo africano, estrés oxidativo, inflamación, células epiteliales bronquiales, asma

Abstract – Particle pollution arises from anthropogenic activities and by natural events such as: forest fires, volcanic ash and dust storms. Particulate matter enters the respiratory system and can cause allergies, lung inflammation and cardiovascular diseases. The island of Puerto Rico, located in the Caribbean, receives volcanic ash from the Soufriere volcano and particulate matter from African dust storms and from local and distant (Venezuela) forest fires. Ground data collected on the Island shows a threefold increase for particulate matter $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM₁₀) and a fivefold for particulate matter $\leq 2.5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}) upon the arrival of these phenomena. Human bronchial epithelial cells exposed to environmental samples collected in Puerto Rico during an African dust storm demonstrated molecules activation related to antioxidant and inflammatory responses. Puerto Ricans have almost three times the asthma rate of the overall Hispanic population of all of Latin America. Health officials on the island suspect that environmental factors are in part responsible for triggering this disease. However, an integrated information system on the atmospheric changes in Puerto Rico is needed in order to identify the specific components that play a key

¹ Center for Environmental and Toxicological Research, Universidad de Puerto Rico-Recinto de Ciencias Médicas, San Juan, PR 00935. Email: rosa.rodriguez5@upr.com

² Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad Metropolitana, PO Box 278, Bayamón, PR 00960. Email: rodriguezr13@suagm.edu

role in the development of this respiratory disease.

Key words: Particulate matter, volcanic ash, forest fires, African dust, oxidative stress, inflammation, bronchial epithelial cells, asthma

Introducción

El material particulado (PM, por sus siglas en inglés), también conocido como contaminación por partículas, es una mezcla compleja de sólidos y gotas líquidas, ambos extremadamente pequeños. Estas partículas se acumulan en la atmósfera y están asociadas a una variedad de compuestos como: nitratos, sulfatos, químicos orgánicos, metales y tierra o polvo que se generan por actividades antropogénicas o por eventos naturales. El tamaño de las partículas está directamente asociado con su potencial para causar problemas de salud. Las partículas de diámetro menor o igual (\leq) a 10 micrómetros (μm) son de importancia médica por su habilidad para entrar y acceder al sistema respiratorio y cardiovascular de los humanos. Las partículas $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) entran al sistema respiratorio superior y las partículas $\leq 2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) penetran profundo hasta los alveolos donde sus componentes son liberados al torrente sanguíneo (Figura 1). En los vasos sanguíneos, el PM puede aumentar la presión arterial y la frecuencia cardiaca (Mannuci, 2013) contribuyendo al síndrome coronario agudo, arritmias y muerte súbita.

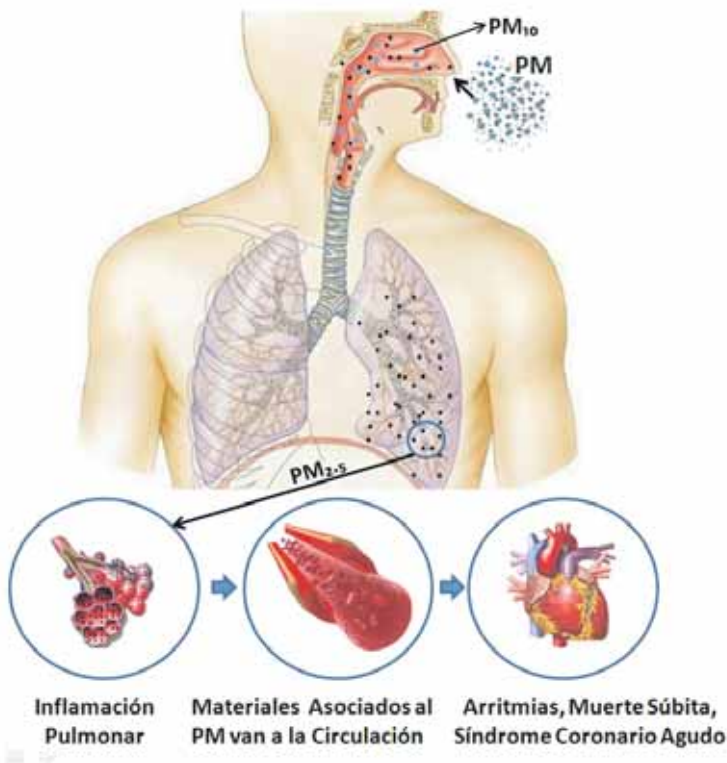


Figura 1. Inhalación del material particulado (PM).

La agencia federal de protección ambiental (USEPA, por sus siglas en inglés) ha establecido estándares que regulan la liberación de estas partículas al ambiente por actividades antropogénicas. Sin embargo, no podemos regular la concentración de material particulado generada por fenómenos naturales. Por lo que es importante entenderlos para llevar a cabo medidas de prevención dirigidas a proteger la salud de la población.

La concentración de $PM_{2.5}$ y su relación con el cambio climático se ha estudiado en un modelo integrado que incluye el clima, la fase gaseosa de la troposfera y aerosoles (Racherla & Adams, 2006). De acuerdo a este modelo, se estima que se registrarán regiones con una disminución en $PM_{2.5}$ y otras con un aumento. El aumento en $PM_{2.5}$ estará determinado principalmente por una disminución en la precipitación de la región bajo estudio y un aumento en los eventos que generen este tipo de material particulado.

En este artículo, revisamos estudios y datos del clima y la presencia de particulado atmosférico en la Isla y su efecto oxidativo e inflamatorio sobre las células epiteliales bronquiales humanas.

Observaciones en Puerto Rico

Un estudio sobre los patrones de precipitación de Puerto Rico utilizó los datos de estaciones meteorológicas para el periodo de 1948 y 2007. De los resultados obtenidos no se encontraron tendencias claras en los totales de precipitación para la Isla (Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico, 2013). No obstante, se encontraron tendencias de aumento de precipitación anual para la región Sur y de disminución para las regiones Oeste y Norte. Por lo tanto, se podría predecir un aumento significativo de $PM_{2.5}$ en el área local si se observa un periodo de escasa precipitación o sequía en combinación con eventos naturales que aporte a la atmósfera este material particulado.

En Puerto Rico, la concentración de material particulado aumenta con el advenimiento de eventos naturales como incendios forestales, presencia de cenizas volcánicas y polvo proveniente de desiertos ubicados en el continente africano. Anualmente, ocurre un gran número de incendios forestales que, por lo general, se inician por rayos que impactan los árboles. Hay un porcentaje muy bajo que se inicia por combustión espontánea, pues requiere alcanzar altas temperaturas que oscilan entre 375 y 510° Fahrenheit para encender la madera (Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, 2006). Los incendios causados por actividades antropogénicas se generan por diversas razones: colillas de cigarrillos, cocinas al aire libre, la quema de basura, entre otras. Este último corresponde al porcentaje más alto de incendios forestales en la Isla. El Cuerpo de Bomberos de Puerto Rico ha zonificado la Isla en varios distritos donde se encuentran sus estaciones. En los meses de enero a julio de 2014, se registraron 3,510 incendios forestales que consumieron

16,117.20 cuerdas (Cuerpo de Bomberos PR, 2014; Méndez Tejada et al., 2014). El distrito de Ponce se distinguió por poseer el número más alto de incendios.

No solo los incendios forestales locales incrementan la concentración de PM en la atmósfera. En marzo de 2010 se observó una bruma densa sobre la Isla (NotiUno, 2010). Las autoridades locales informaron que el fenómeno se debía a incendios forestales en Venezuela cuyo material particulado había llegado hasta Puerto Rico. La concentración de PM_{10} , reportada por la red de monitoreo de aire de la Junta de Calidad Ambiental (JCA) de Puerto Rico, se triplicó durante la presencia de esta bruma. Los datos reportados corresponden a las estaciones ubicadas en: Fajardo, Guayama, Cataño y Guaynabo. No se reportaron datos para $PM_{2.5}$.

Puerto Rico no posee volcanes, pero observamos la presencia de cenizas volcánicas en la Isla. Estos eventos son de interés para la población, por lo cual se reseñan en la prensa local, televisiva y escrita. Las cenizas son nocivas a la salud, sobre todo en personas susceptibles que sufren de rinitis alérgica (inflamación de la mucosa de la nariz), asma bronquial y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Las cenizas llegan de lugares distantes como Indonesia en donde se encuentra el volcán Merapi. También pueden llegar cenizas desde los volcanes Soufriere Hills en Montserrat, el más conocido del Caribe, y el de Pacaya en Guatemala. En la tercera semana de marzo de 2007, el Observatorio Volcanológico de Montserrat reportó una erupción volcánica del Soufriere Hills que afectó el tránsito aéreo hacia y desde Puerto Rico (Del Valle, 2007). La nube de ceniza alcanzó los 240 metros de altura. La concentración de PM_{10} reportada, por la JCA, se triplicó en las estaciones de Fajardo, Ponce, Cataño, Guaynabo y San Juan. La concentración de $PM_{2.5}$ para las estaciones de Fajardo, Guaynabo y San Juan se quintuplicó.

Las tormentas de polvo que se generan en el continente africano viajan miles de kilómetros llegando finalmente al área del Caribe. En un evento de polvo sobre Puerto Rico, la isla queda cubierta por este material particulado, el cual es inhalado por los habitantes. Este evento es uno cíclico que ocurre durante los meses de primavera y verano, aunque se ha reportado bruma en otras épocas del año (Rodríguez et al., 2013). Los eventos de bruma disminuyen la visibilidad y aumentan el material particulado. Es interesante señalar que la bruma sobre el Caribe, incluyendo a Puerto Rico, se ha intensificado en los últimos 45 años (Wittig et al., 2007). Las tormentas han sido más frecuentes y de mayor duración. Esto se atribuye a periodos de sequía en las regiones del Sahara y Sahel en África, debido a cambios en la distribución global de la temperatura en la superficie del océano. Durante su trayectoria, las nubes de polvo recogen y transportan diferentes tipos de compuestos químicos incluyendo metales.

Los metales unidos a $PM_{2.5}$ están asociados a la activación de trayectos metabólicos para las respuestas oxidante y proinflamatoria (Rodríguez et al., 2015). La respuesta antioxidante se inicia para prevenir la oxidación de moléculas. Las

reacciones de oxidación producen radicales libres que generan reacciones en cadena que dañan las células. Por lo general, la respuesta antioxidante antecede la respuesta inflamatoria. La inflamación es una reacción adaptativa generada por diferentes causas y es una característica de condiciones respiratorias como el asma.

Entre los hispanos, los puertorriqueños exhiben la mayor prevalencia de asma en todas las edades, pero principalmente entre los 5-9 años (Ortiz-Martínez et al., 2010). Aunque se han realizado estudios durante décadas, todavía no está claro por qué los puertorriqueños sufren tanto de asma. Los resultados de las investigaciones apuntan a factores ambientales y características genéticas.

Con el propósito de identificar el efecto del polvo africano en células del pulmón, Rodríguez et al. (2013) obtuvieron muestras ambientales de $PM_{2.5}$ y PM_{10} colectadas por la JCA en períodos de bruma sobre la Isla para exponerlas a células de epitelio bronquial humano con el propósito de identificar el efecto del polvo africano en estas células. Los resultados obtenidos demostraron un aumento en las especies reactivas de oxígeno (ROS) y una disminución en su capacidad antioxidativa, generando estrés oxidativo (Rodríguez et al., 2015). Se observó además, un aumento en la actividad del factor de transcripción Nrf2, proteína que regula el flujo de información de genes asociados a la respuesta antioxidante, y un aumento en la síntesis de los mensajeros; glutatión-S-transferasa (GST1) y hemo oxigenasa 1 (HMOX1) para la producción de proteínas antioxidantes. Maf, Jun, PMF1 y ATF4 son factores de transcripción que pueden formar dímeros con Nrf2 y unirse a la región ARE (*antioxidant response element*) del ADN para realizar el proceso de transcripción (Figura 2). Las células expuestas a ambos, $PM_{2.5}$ y PM_{10} , mostraron un aumento en las citoquinas pro-inflamatorias (IL-6, IL-8). Además, las células expuestas a $PM_{2.5}$ también tuvieron un aumento en el mensajero que codifica para IL-8. La Figura 2 resume la activación de moléculas relacionadas a las respuestas antioxidante e inflamatoria en células epiteliales bronquiales expuestas a material particulado de polvo africano en Puerto Rico. Nrf2, AP1, C/EBP β , son factores de transcripción que pudieran participar en la síntesis del mensajero para IL-8. Estos factores se unen a la región RE (*response element*) del ADN. Estudios como este son particularmente importantes para el sector de la población con condiciones respiratorias, quienes reportan episodios de asma y alergias durante la temporada de polvo africano sobre Puerto Rico.

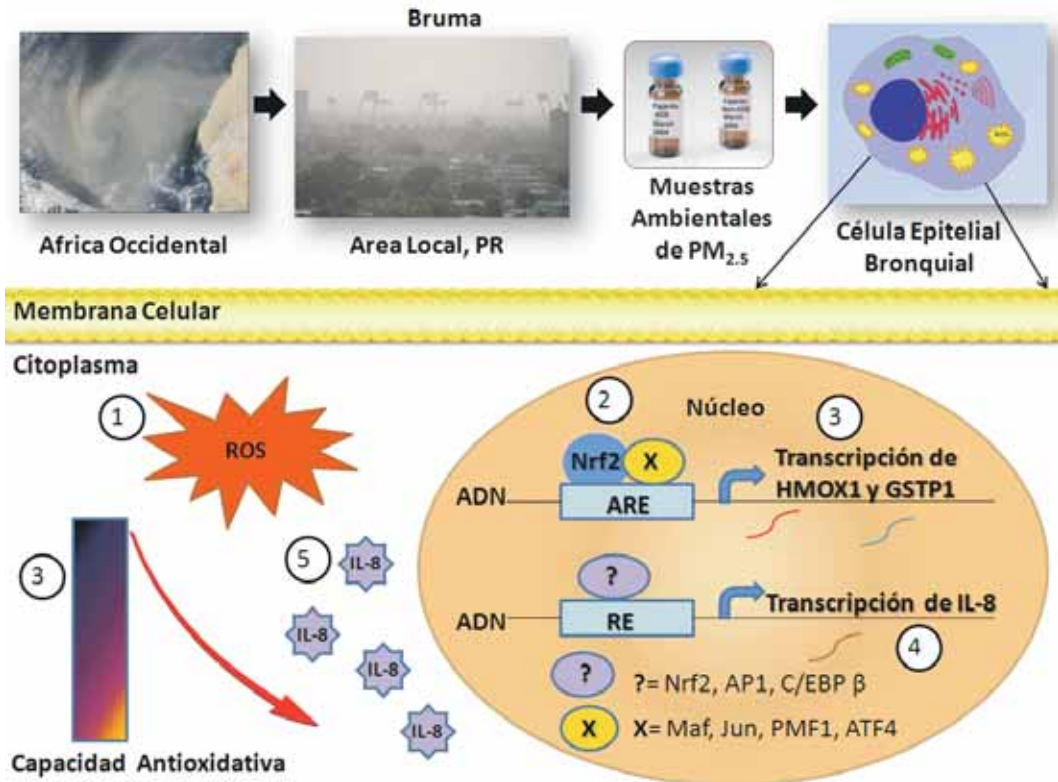


Figura 2. Efecto del polvo africano en la respuesta celular.

Los incendios forestales, cenizas volcánicas y polvo africano se han presentado de manera individual; sin embargo, estos eventos pueden ocurrir al unísono. La presencia de cenizas volcánicas en conjunto con el polvo africano ha sido documentada por el Servicio Nacional de Meteorología y por la JCA. La concentración de material particulado de estos fenómenos se refleja en la red de monitoreo de aire de la JCA en combinación con la Agencia de Protección Ambiental. Sin embargo, en ocasiones los datos son incompletos. En eventos donde se observa una gran cantidad de material particulado, la estación de monitoreo no reporta parte o todo el evento. Cuando se identifica un aumento significativo del material particulado, no se informa la causa. En estos casos, hay que realizar estudios retrospectivos utilizando los satélites, la prensa y los observatorios de fenómenos naturales, entre otros. La causa del incremento del material particulado es importante, pues los componentes asociados a este varían según la fuente. La información relacionada a los incendios forestales en la Isla se difunde principalmente a través de la prensa que cubre el evento o por petición directa al Cuerpo de Bomberos.

Implicaciones futuras

Las agencias pertinentes necesitan integrar los sistemas de información donde se recopilan datos de los diferentes eventos que impactan el ambiente local. Estos sistemas de información deben ser integrados de forma tal que los datos generados de diferentes fuentes y concernientes a la composición atmosférica estén disponibles. Un sistema de información integrado es importante pues permite obtener mayor cantidad de datos en menos tiempo y avanzar los conocimientos que relacionan el ambiente con las condiciones respiratorias y cardiovasculares. El efecto del polvo africano en células del pulmón se ha estudiado en la respuesta antioxidante y pro-inflamatoria, pero falta mucho por recorrer. Apenas comienza el estudio del efecto de las cenizas volcánicas o de la combinación de todos estos eventos en nuestra atmósfera y su impacto en la salud de la población.

Literatura citada

- Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico. (2013). *Estado del clima de Puerto Rico 2010-2013*. Resumen Ejecutivo: Evaluación de vulnerabilidades socio-ecológicas en un clima cambiante. Recuperado de: http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/arn/recursosvivientes/costasreservasrefugios/pmzc/prccc/prccc-2013/CCCPR_ResumenEjecutivo.pdf
- Cuerpo de Bomberos de Puerto Rico. (2014). *Estadísticas fuegos forestales 2013-2014*. [PDF]. Recuperado de: <http://www.oslpr.org/2013-2016/ponencias/B2YOVZQG.pdf>
- Del Valle, L. Y. (20 de marzo de 2007). Dañino el “rugido” de los volcanes. *El Nuevo Día*, [endi.com]. Recuperado de: <http://www.cienciapr.org/es/external-news/danino-el-rugido-de-los-volcanes>
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2006). *Incendios forestales en Puerto Rico*. Recuperado de: <http://www.drna.gobierno.pr/biblioteca/publicaciones/hojas-de-nuestro-ambiente/1-%20Incendios%20Forestales.pdf>
- Mannucci, P. (2013). Airborne pollution and cardiovascular disease: Burden and causes of an epidemic. *European Heart Journal*, 34(17), 1251-1253. doi:10.1093/eurheartj/eh045
- Méndez Tejada, R., Santos Corrada, M., Ortiz Morales, S., & Claudio Vargas, O. (2014). Incendios forestales en Puerto Rico: naturales o antropogénicos? *VI Reunión Cumbre Sobre Cambio Climático*, Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico, San Juan PR.
- NotiUno (1 de marzo de 2010). Fuegos forestales en Venezuela afectan cielos de Puerto Rico. Recuperado de: <http://www.notiuno.com/fuegos-forestales-en-venezuela-afectan-cielos-de-puerto-rico/>

- Ortiz-Martínez, M., Rivera-Ramírez, E., Méndez-Torres, L., & Jiménez-Vélez, B. D. (2010). Role of chemical and biological constituents of PM10 from Saharan dust in the exacerbation of asthma in Puerto Rico. *Biodiversity science for humanity. Athens Institute for Education and Research, Athens, Greece*, 101-118.
- Racherla, P. N., & Adams P. J. (2006). Sensitivity of global tropospheric ozone and fine particulate matter concentrations to climate change. *Journal Geophysical Research*, 111, D24103, doi:10.1029/2005JD006939.
- Rodríguez-Cotto, R., Ortiz-Martínez, M., Rivera-Ramírez, E., Méndez, L., Dávila, J. & Jiménez-Vélez, B. (2013). African dust storms reaching Puerto Rican coast stimulate the secretion of IL-6 and IL-8 and cause cytotoxicity to human bronchial epithelial cells (BEAS-2B). *Health*, 5, 14-28. doi: 10.4236/health.2013.510A2003.
- Rodríguez-Cotto, R. I., Ortiz-Martínez, M. G., & Jiménez-Vélez, B. D. (2015). Organic Extracts from African Dust Storms Stimulate Oxidative Stress and Induce Inflammatory Responses in human lung cells through Nrf2 but not NF-kB. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 39(2), 845-856. doi:10.1016/j.etap.2015.02.015.
- Wittig, R., König, K., Schmidt, M., & Szarzynski, J. (2007). A study of climate change and anthropogenic impacts in West Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 14, 182-9. doi.10.1065/espr2007.02.388.

EL ROL DE LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS EN LA MITIGACIÓN DE RIESGOS NATURALES DERIVADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO: UNA PERSPECTIVA DE EVALUACIÓN DESDE LA SOSTENIBILIDAD ECOLÓGICA

Marisela González-Rivera, Ph.D.(c)¹, Antonio Gómez-Sal, Ph.D.²

Recibido 10 de marzo de 2015; aceptado 11 de agosto de 2015

Resumen – La mitigación del riesgo de peligros naturales debe considerar seriamente el estado de los ecosistemas para la toma de decisiones sobre la planificación territorial y la adaptación al cambio climático. Con el fin de evaluar los servicios de los ecosistemas, como los peligros naturales reguladores, debemos analizar la integridad ecológica y estimar su capacidad. El enfoque de “adaptación basada en los ecosistemas” parece ser apropiado. Esta propuesta pretende indicar fases metodológicas para desarrollar la aplicación práctica. De esta manera, podemos obtener elementos que mejoran la conservación de las funciones de los ecosistemas. Además, establecemos criterios para las redes de protección de los ecosistemas que aseguren sus servicios como reguladores contra los efectos locales de peligros naturales, cada vez más intensificado por el cambio climático, y su capacidad de resistencia frente al impacto de los eventos naturales con potencial catastrófico.

Palabras clave: Adaptación Basada en Ecosistemas, Servicios ecosistémicos de Regulación, resiliencia, modelo de sostenibilidad ecológica, mitigación de peligros naturales.

Abstract – Risk mitigation from natural hazards should strongly consider the state of ecosystems for decision-making on territorial planning and adaptation to climate change. Analysis of ecological integrity and estimates on capability are necessary to evaluate ecosystem services, for example, those of natural hazard regulators. The Ecosystem-based Adaptation approach seems appropriate. This proposal seeks to specify methodological phases to develop practical applications. Using this approach, we can identify the elements that enhance the conservation of ecosystem functions. In addition, we establish criteria for ecosystem protection networks to assure their services as regulators with mitigating potential against local effects from natural hazards intensified by climate change. The resilience of ecosystems facing the impact of natural events with catastrophic potential is also considered.

Key words: Ecosystem-based adaptation, ecosystem services as regulators, resilience, ecological sustainability model, natural hazard mitigation.

¹ Universidad Alcalá de Henares, Departamento de Ecología, Programa de Cambio Global y Desarrollo Sostenible. Email: marisela@inbox.com

² Universidad Alcalá de Henares, Departamento de Ecología, Director Comité Científico, Observatorio de Sostenibilidad de España

Introducción

El *Estudio sobre los Servicios de los Ecosistemas Corporativos* inicia su escrito con las siguientes palabras “El calentamiento global domina la mayoría de los titulares hoy día. La degradación de los ecosistemas lo hará el día de mañana” (World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, & Meridian Institute, 2008, p. ii). Pese a este señalamiento, lo cierto es que la degradación de los ecosistemas está ya muy presente en la actualidad. Así lo determina el informe *Evaluación de Ecosistemas del Milenio* (MA, por sus siglas en inglés), el cual tuvo como objetivo evaluar las consecuencias de los cambios en los ecosistemas y las bases científicas sobre las que apoyar las acciones necesarias para mejorar su conservación, uso sostenible y contribución al bienestar humano (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). En su conclusión número uno, este documento señaló que:

En los últimos 50 años, los seres humanos han transformado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro período de tiempo comparable de la historia humana, en gran parte para resolver las demandas crecientes de alimento, agua dulce, madera, fibra y combustible. Esto ha generado una pérdida considerable y en gran medida irreversible de la diversidad de la vida sobre la Tierra. (p. 1)

Este periodo de cambio exponencial de consumo y sus efectos sobre los recursos ha sido recientemente nombrado como “la gran aceleración” (Hibbard et al., 2006), la etapa más reciente del Antropoceno (Steffen, Crutzen, & McNeill, 2007). A consecuencia de la degradación de los ecosistemas, los servicios prestados por éstos para el bienestar humano han disminuido substancialmente (Daily et al., 1997). Al trasladar estas conclusiones a la escala local/regional resulta urgente la necesidad de un diagnóstico de los ecosistemas para evaluar su capacidad de aportar dichos servicios (Constanza et al., 1997; Gómez-Sal, 2001).

La degradación de los ecosistemas debido a la presión de los usos incrementa la fragilidad con la que nos enfrentamos a los cambios climáticos y a las distintas manifestaciones del cambio global (Steffen et al., 2007). Las propias consecuencias del cambio climático provocan a su vez modificaciones y cambios en la dinámica de los ecosistemas con efectos evidentes sobre su capacidad de aportar servicios (Meehl et al., 2000; Milly, Dunne, & Vecchia, 2005). Si a esto se le añaden las prácticas inadecuadas de manejo, la rapidez de los cambios generados pone nuevamente a prueba la capacidad de resiliencia (recuperación) de la naturaleza humanizada (Running & Mills, 2009). El paradigma de “cambio global” incluye de forma más completa los distintos efectos y consecuencias generadas por la presión insostenible de los usos humanos, como la deforestación, pérdida de biodiversidad, urbanización acelerada en el planeta, entre muchas otras (Rockström et al., 2009). El cambio climático sería una parte de estos efectos complejos. Los informes de la evaluación

de servicios de los ecosistemas para el bienestar humano han permitido reconocer y documentar las modificaciones que sufren los ecosistemas a escalas regionales y nacionales y su repercusión sobre los servicios que prestan. A pesar de ello, habrá que asumir cambios que la población mundial tendrá que aceptar y adaptarse (US Climate Change Science Program, 2009). La humanidad dependerá de su capacidad de adaptación para tener condiciones de vida aceptables en el planeta.

Como respuesta a las gestiones internacionales para atender la problemática de los procesos de adaptación ante las consecuencias del cambio climático a escala local/regional, la Unión Internacional de la Conservación de la Naturaleza ha desarrollado el concepto de Adaptación Basada en los Ecosistemas (EbA, por sus siglas en inglés). En este concepto se identifica e implementa una gama de estrategias para el manejo, conservación y restauración de los ecosistemas con objeto de asegurar que éstos continúen prestando los servicios que permiten a las personas adaptarse a los efectos del cambio climático (US Climate Change Science Program, 2009). En su carácter de estrategia para la adaptación y desarrollo, la EbA tiene como meta aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y de las sociedades ante el cambio climático, según se estipula en las negociaciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (2009).

Las medidas de adaptación en el sector forestal incluyen esfuerzos, tanto para ayudar reducir los impactos del cambio climático sobre las personas, como para adaptar las prácticas de manejo de los bosques y reducir su vulnerabilidad frente a los impactos del cambio climático. En la mayoría de los países en desarrollo, incluyendo muchos de América Latina y el Caribe, las respuestas de las políticas forestales y de organización de los usos de suelos para la adaptación al cambio climático parecen ser aun relativamente limitadas. A nivel mundial se necesita un enfoque más sistemático de las necesidades y oportunidades para la adaptación en el sector forestal, como parte de políticas generales de bosques y procesos de planificación, lo que incluye programas forestales nacionales orientados a la adaptación al cambio climático (US Climate Change Science Program, 2009).

Entre los ejemplos de adaptación basada en los ecosistemas (EbA) están los siguientes:

- Manejo de ecosistemas costeros para reducir inundaciones durante marejadas. Los manglares, ciénagas salinas y otros tipos de vegetación costera proporcionan una infraestructura natural que reduce tierra adentro los impactos derivados de la energía del oleaje, actúan como una barrera para detritos y reduce la erosión costera.
- Manejo de tierras agrícolas con la utilización de conocimientos locales sobre cultivos específicos y usos ganaderos (especies, razas, manejo), aplicación de enfoques de gestión integrada de recursos hídricos, y

conservación del mosaico (diversidad) de paisajes agrícolas para asegurar el abastecimiento de alimentos en condiciones climáticas locales cambiantes y erráticas.

- Manejo de tierras altas y cuencas para asegurar que el almacenamiento de agua y los servicios de regulación de inundaciones sean maximizados a través del mantenimiento y mejora de los humedales y de los cauces fluviales y su vegetación.
- Mantener y mejorar la resistencia de los ecosistemas mediante sistemas eficientes de áreas naturales protegidas y mejoras en el manejo sostenible de paisajes antrópicos terrestres, costeros y marinos.

Estas acciones de prevención, mitigación y adaptación persiguen mantener una base de referencia (capital natural) para la sostenibilidad de los recursos (tanto naturales como asociados a la actividad humana). En conjunto pueden verse como las acciones de gestión básica para la supervivencia de las sociedades humanas.

Por otro lado, existen gestiones locales y regionales dirigidas por las entidades gubernamentales que intentan establecer acciones de mitigación de los eventos naturales que pueden tener efectos catastróficos y cuya frecuencia parece incrementar con el cambio climático (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 1995; McCarthy, Canziani, Leary, Dokken, & White, 2001; Milly et al., 2005; Emanuel, 2005; Anderson & Baucsh, 2006). La Ley de Mitigación de Desastres o DMA, por sus siglas en inglés (Disaster Mitigation Act, 2000) de los Estados Unidos, que aplica tanto a las regiones estadounidenses como a sus territorios, obliga a sus municipios (entre ellos a los de la isla de Puerto Rico) a llevar a cabo acciones de mitigación de riesgos naturales. En Puerto Rico, esta actuación se realiza a través de la elaboración de un Plan de Mitigación de Riesgos Naturales (PMRNM) donde se hace uso de una herramienta (mapas de peligros naturales) basada en un estudio llevado a cabo por la Universidad Metropolitana y financiado por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés). El estudio titulado *Evaluación Integrada de Peligros Naturales para la Isla de Puerto Rico* (2002) evaluó la intensidad y frecuencia de eventos naturales, además de las condiciones geofísicas de la región mediante variables como precipitación, temperatura, pendientes, tipos de suelos, geología, elevaciones, entre otras.

En una fase posterior de este estudio sería recomendable incluir las visiones actuales de evaluación de los servicios de los ecosistemas y adaptación que hemos comentado, además de señalar los servicios relacionados con la mitigación de eventos naturales específicos. De esa manera se pueden proponer zonas de protección de ecosistemas clave para la mitigación de determinados peligros, como las inundaciones, erosión costera y derrumbes, entre otros (Hannah et al., 2007). También hay que estudiar a fondo la capacidad de respuesta de los ecosistemas ante

estos eventos (resiliencia), capacidad que puede ser afectada (mermada o reforzada) por los usos humanos. Los Planes de Mitigación de Riesgos Naturales generados por los municipios los hacen elegibles para recibir ayudas económicas en caso de desastres, pero también les permite acceder a fondos federales para atender sus respectivas acciones de mitigación y adaptación.

Con esta perspectiva resulta especialmente necesario identificar y cartografiar los ecosistemas que son cruciales para mitigar los diferentes riesgos por eventos naturales. De esta manera, el manejo efectivo y sostenible de los ecosistemas clave para afrontar los riesgos puede ser incluido como parte de las estrategias de mitigación. En consecuencia instituir métodos de evaluación del uso sostenible de los ecosistemas no sólo permite contar con indicadores de integridad o capacidad de respuesta frente a perturbaciones, sino que también impulsa la aplicación de buenas prácticas de desarrollo sostenible y puede tener un efecto generalizado sobre la toma de decisiones (Meadows, 1998).

Servicios de los ecosistemas: mitigación de desastres

En este apartado, el propósito principal es establecer un fundamento teórico que clarifique los criterios de selección de los servicios ecosistémicos que tienen mayor interés para la mitigación de riesgos naturales. Ello permitirá priorizar, en caso necesario, las estrategias de protección de los ecosistemas capaces de prestarlos. Es necesario definir, en primer lugar, varios de los términos que diferencian los enfoques actuales y las variables que pueden utilizarse para orientar el estudio de los servicios de los ecosistemas, un concepto que ha recibido distintas interpretaciones. Fisher y sus colaboradores (2007) llevaron a cabo un análisis de las definiciones que sirvieron de base para los estudios en esta temática. Fisher citó a Daily y colaboradores (1997) al referirse a los servicios de los ecosistemas como “condiciones y procesos, a la vez que funciones para el soporte de la vida actual”; Constanza et al. (1997) los identifican como “bienes y servicios derivados de las funciones de los ecosistemas y utilizados por la humanidad”, mientras que el MA (2005), dice que los “servicios son beneficios para las sociedades humanas y las personas”. Ciertamente los autores han discrepado en cuanto a la definición de los servicios, aunque coinciden en la visión antropocéntrica de los mismos. Boyd y Banzhaf (2007) ofrecieron una definición alterna, consideran a los servicios de los ecosistemas como “aspectos de los ecosistemas utilizados (activa o pasivamente) para producir bienestar humano”. De modo que solo son considerados como “servicios de los ecosistemas” aquellos componentes que son aprovechados como beneficio por la humanidad. Por lo cual, los servicios de los ecosistemas incluyen organización o estructura, pero también procesos y/o funciones si es que son utilizados directa o indirectamente por los seres humanos. Por ejemplo, para los residentes de un lugar donde los huracanes representan una amenaza para su bienestar, los ecosistemas que mitigan o amortiguan

el impacto mediante su estructura, organización, complejidad, se convierten en servicios. Diferente ocurre en una isla despoblada donde los huracanes pasan y no hay un servicio percibido por los humanos.

De este modo, los ecosistemas ofrecen beneficios de protección y/o mitigación ante peligros naturales, lo que permite preservar la vida, la propiedad pública y privada, el patrimonio cultural, minimizar la vulnerabilidad de los modos de vida, entre otras (Fisher et al., 2007). Según esta premisa, la conexión entre las sostenibilidad de los usos humanos como condición para que los ecosistemas puedan prestar servicios y considerarlos como beneficios para la comunidad es fundamental. La relación de los ecosistemas con los peligros naturales es una perspectiva especialmente importante para los territorios más afectados por riesgos naturales. La estimación de la integridad de los ecosistemas y la resiliencia como capacidad para amortiguar peligros naturales y recuperar las condiciones que permiten mitigar los riesgos por eventos naturales son considerados esenciales.

El MA considera los servicios de provisión, regulación y culturales brindados por los ecosistemas. Uno de los documentos derivados del MA, 2005, *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, presentó un análisis sobre la regulación de los peligros naturales a través de los servicios de los ecosistemas, enfatizando los que tienen que ver con fuegos e inundaciones. Ese documento indica que desde 1992 a 2001, las inundaciones fueron la principal causa de desastres (43% de 2,257 desastres) en el mundo, lo que causó la muerte de 96,507 personas y afectado a más de 1.2 millones de personas en esa década. Las interacciones de las actividades humanas modernas con los ecosistemas han contribuido a incrementar la vulnerabilidad para los humanos y el impacto de eventos extremos para el bienestar (MA, 2005: World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, & Meridian Institute, 2008). El documento citado también concluye que el manejo apropiado de los ecosistemas puede ser una herramienta importante para reducir la vulnerabilidad y contribuir a la reducción de impactos negativos de eventos extremos sobre las sociedades.

Mitigación de inundaciones

Sea cuál sea el grado de intensificación de los eventos de lluvias y huracanes, los ecosistemas podrán o no cumplir un rol esencial en el proceso de mitigación, dependiendo del nivel de alteración humana que contengan. La resiliencia (respuesta a perturbaciones) de un determinado ecosistema y su capacidad de suministrar servicios dependerá del estado (configuración) en que se encuentre, dependiente en general de la gestión humana (Gómez-Sal, Belmontes, Nicolau, 2003). Por ejemplo, cuando llueve, los suelos pueden retener agua y gradualmente la distribuyen a las plantas, acuíferos y arroyos. De modo que el propio suelo puede minimizar el avance del agua sobre el terreno en una inundación (Daily et al., 1997). La cobertura vegetal

y la materia orgánica superficial del suelo (hojarasca y otras) minimizan el impacto violento de la lluvia. Cuando no hay cobertura vegetal, usualmente, la lluvia compacta la superficie y convierte el suelo en lodo, el cual obstruye sus cavidades y reduce la infiltración, aumentando la escorrentía y sus efectos erosivos. Los componentes del suelo responsables de su estructura y fertilidad son transportados pendiente abajo por las inundaciones (Hillel, 1991).

La erosión es otra de las consecuencias de la deforestación debido a la desestabilización de los suelos, aumentando el efecto catastrófico de las inundaciones. El material es arrastrado acumulándose en sistemas acuáticos, naturales y embalses. La erosión incrementa la frecuencia y severidad de inundaciones, además de minimizar la capacidad de retención de agua y nutrientes en los suelos y su potencial de producción, así como otros daños que afectan directamente los costos para afrontar los deterioros (Pielke, 2000). También minimizan el potencial de las instalaciones hidroeléctricas al rellenar de material los embalses y minimizar su capacidad de almacenamiento de agua (Pimentel et al., 1995). Otras de las ventajas que tiene la cobertura vegetal para mitigar inundaciones es la evapotranspiración. La vegetación, en particular los árboles y arbustos con raíces profundas, retornan el agua de los suelos a la atmosfera a través de la transpiración de agua y la evaporación de esta, minimizando la saturación del terreno (Guoyi et al., 2008).

Los humedales son particularmente apreciados por su rol en el control de las inundaciones, éstos pueden reducir la necesidad de tener que construir estructuras para amortiguar el efecto de las crecidas (Ming, Xian, Lin-shu, Li-juan, & Shouzheng, 2007). Los bosques, vegetación de planicies de inundación y marismas pueden disminuir la intensidad energética del flujo de aguas en una crecida y permiten que los sedimentos puedan depositarse en las planicies en vez de llegar al océano (Daily et al., 1997). Los humedales de montaña pueden absorber más cantidad de agua y mitigar el efecto de inundación repentina durante lluvias prolongadas, retrasando la saturación de los suelos en terrenos altos y absorbiendo el flujo máximo sobre los terrenos. Manteniendo la integridad de los humedales, su vegetación, los suelos asociados a las llanuras aluviales y el régimen hídrico es posible reducir la severidad y duración de las inundaciones provocadas por los ríos (Ewel, 1997).

Mitigación de vientos fuertes (tormentas y huracanes)

La relación ante la fuerza y duración de los huracanes y su relación al incremento en las temperaturas del océano afectadas por el calentamiento global han sido documentadas por Emanuel (2005). El cambio climático está provocando una mayor intensidad en los ciclones generados en el Atlántico desde 1970, no solo en la frecuencia, sino que se ha doblado su poder de disipación, lo que resulta en un incremento del potencial de destrucción de los huracanes (Escobar, 1999).

La cobertura vegetal reduce la probabilidad de derrumbes erosión de los suelos, inundaciones y avalanchas (deslaves, deslizamientos de laderas). Los arrecifes de coral, las barreras insulares y los manglares mitigan también el daño de los huracanes en tormentas tropicales, marejadas y reducen la intensidad energética del fenómeno.

El manglar es uno de los ecosistemas más amenazados del mundo, ahora se conoce que los bosques de mangle también son defensa contra los tsunamis y pudieron haber salvado la vida a miles de personas en Asia. Desafortunadamente, durante décadas se han pasado por alto los beneficios que brindan estos bosques costeros. A pesar de que actualmente se conocen sus efectos y beneficios, la velocidad de desaparición de estas barreras costeras es tres veces mayor que la de las selvas tropicales (Pielke et al., 2003).

Relación entre sostenibilidad y los servicios ecosistémicos

Como hemos mencionado anteriormente, la intensidad del uso de los ecosistemas debe ser evaluada para determinar el impacto en su integridad y resiliencia. Esto a través de un estudio de la coherencia del uso de los recursos (tipo, cantidad y frecuencia de utilización), la planificación de las áreas de ocupación y los diferentes usos del suelo, entre otras. La integridad del ecosistema, puede ser evaluada a través de la integridad espacial (fragmentación y conectividad en una escala amplia en el paisaje) y funcional (procesos y funcionamiento de los ecosistemas presentes, escala más detallada) con elementos de coherencia ecológica y capacidad de los ecosistemas de sustentar usos (Gómez-Sal & Vélez, 2008).

Por la naturaleza de un análisis cuyos resultados se pretende que sean útiles para la evaluación de la sostenibilidad fuerte (ecológica o eco-social) es definitivamente necesaria la integración de los componentes sociales, económicos y culturales, aunque en este caso sean los servicios esencialmente de regulación (mitigación) los que estén recibiendo la mayor atención. El resultado de este análisis debe verse en contexto regional partiendo de una sectorización que tenga en cuenta las condiciones geofísicas como topografía, tipos de suelos, geología, precipitación, entre otras. Los resultados permitirán apreciar un panorama de la integridad, las funciones y procesos asociados a la estabilidad del ecosistema, a una escala territorial adecuada para la planificación de las actividades humanas.

Como resultado de considerar de forma conjunta aspectos de conectividad, madurez, integración espacial, factores bióticos y abióticos particulares de los ecosistemas, deberá elaborarse un diagnóstico de la capacidad de prestación de servicios relacionados con la mitigación de eventos naturales potencialmente catastróficos (Breshears & Allen, 2002; MA, 2005; Millar et al., 2007).

Una vez considerada esa capacidad de servicio de mitigación y/o protección por parte del ecosistema frente a eventos naturales, la respuesta y conclusión final

del diagnóstico debe ser puesta en práctica a través del monitoreo del ecosistemas frente al evento extremo (US Climate Change Science Program, 2009). Por ejemplo, si se evalúan independientemente los riesgos de inundación y huracanes, es posible que aquellos ecosistemas (por ejemplo, un manglar) que “mitigan” una inundación puedan afrontar con éxito la misma y beneficiar a los humanos. Sin embargo, si ese mismo ecosistema se asocia al servicio de absorción de energía frente a un huracán de alta categoría, el estrés aplicado al mismo por los vientos puede minimizar su tolerancia a los huracanes y hasta superar los umbrales de resiliencia provocando un colapso total de los servicios de regulación (Smith, de Groot, Perrot-Maître, & Bergkamp, 2006).

En realidad es como si se produjese una competencia o conflicto (*trade-off*) entre los posibles servicios de regulación. Estos conflictos han sido documentados ampliamente entre servicios de distintos tipos (ej. entre los servicios de abastecimiento y los de regulación) pero no entre los que pertenecen al mismo grupo (Gómez-Sal, 2003). Es por eso importante evaluar de forma independiente los servicios frente a diferentes tipos de eventos, seguido por la integración de los mismos antes de tomar decisiones sobre el manejo del ecosistema (Kareiva, Watts, McDonald, & Boucher, 2007). El objetivo es evaluar la capacidad de respuesta y recuperación de los ecosistemas que ofrecen los servicios de regulación relacionados con eventos naturales, su capacidad de afrontar el estrés provocado por los eventos extremos y determinar la calidad del servicio (Meyerson et al., 2005). Estas funciones están condicionadas por la coherencia de los usos de los suelos y la modificación de los ecosistemas por parte de los humanos.

El esquema conceptual que proponemos para la evaluación de los servicios de los ecosistemas como reguladores de efectos de inundaciones y huracanes (Figura 1).

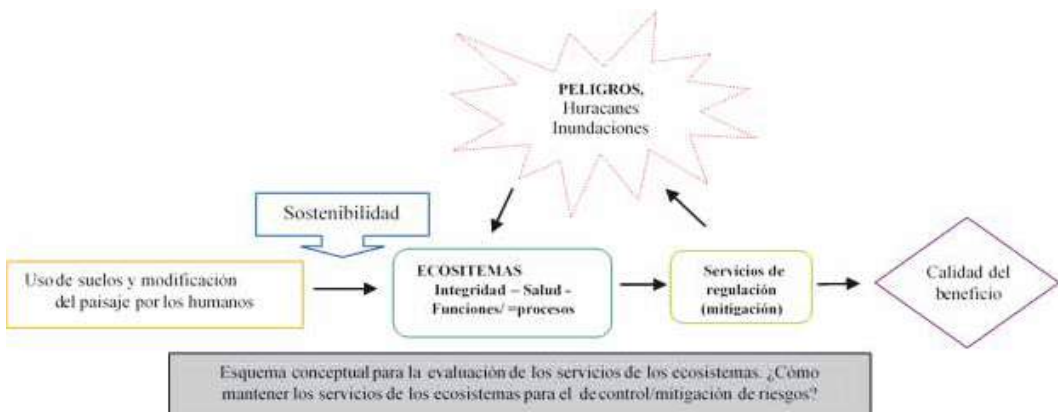


Figura 1. Esquema conceptual para la evaluación de cuencas hidrográficas en Puerto Rico en relación a su capacidad para afrontar eventos naturales y peligros potenciales.

El proceso de la evaluación lleva inherente la necesidad de establecer las relaciones adecuadas que permitan enlazar los efectos de los eventos naturales con los beneficios finales prestados por los ecosistemas. Un procedimiento adecuado para ello es identificar escenarios posibles de sostenibilidad y evaluar hasta qué punto la realidad de los usos de los suelos se acerca a las condiciones de un escenario deseable (Gómez-Sal et al., 2003; Gómez-Sal, 2013). Para esto, primero se define el alcance de la evaluación a través de una relación entre los eventos naturales (inundaciones y huracanes) y algunos ecosistemas que se asocian a los servicios de mitigación. A partir de esta relación se pone en marcha el proceso de adquisición de la información necesaria para la evaluación de la sostenibilidad ecológica (eco-social) deseable. La Tabla 1 presenta algunas de esas relaciones y también refiere el beneficio humano extraído de la gestión adecuada del servicio ecosistémico.

Tabla 1

Relaciones entre algunos de los servicios de los ecosistemas que proveen beneficios de regulación para mitigar impactos en riesgos naturales

Evento natural	Ecosistema	Servicio	Beneficio
Inundaciones (MA, 2005)	Planicies de inundación	Atenuación de inundaciones	
	Lago y reservas de agua	Almacenamiento de aguas y sedimentos	Mitigación de la extensión los daños por procesos naturales de inundaciones
	Humedales	Amortiguación de inundaciones	
Huracanes o tormentas tropicales (United Nations Environment Programme 2008)	Playas y manglares	Frente de mitigación de vientos y marejadas. Atenuación de intensidad del oleaje	Maximización de la protección de la vida, propiedad privada y patrimonio cultural, entre otras, de las comunidades frente a eventos de vientos fuertes, lluvias y los peligros relacionados
	Bosques de laderas y de montañas	Retención de sedimentos, absorción de agua en suelos saturados, estabilidad del terreno	
	Humedales	Amortiguación de inundaciones	Mitigación de los efectos naturales en los modos de vida de los pescadores, agricultores y otros asociados al uso de los servicios de provisión de los ecosistemas
	Bosques costeros	Amortiguación de inundaciones	

Como síntesis, planteamos que para evaluar los servicios de los ecosistemas es necesario un estudio de su integridad ecológica y estimar su capacidad para amortiguar los riesgos naturales (uno de los servicios de regulación). La mitigación de riesgos debe considerar fuertemente el estado de los ecosistemas para la toma de decisiones en la planificación territorial y la adaptación al cambio climático. Para ello el enfoque de “adaptación basada en los ecosistemas” (EbA) nos parece adecuado y la presente propuesta pretende indicar fases de aplicación metodológica para desarrollar en la práctica. De esa manera, se pueden obtener elementos que refuercen la conservación de las funciones de los ecosistemas y establecer criterios y redes territoriales de conservación tanto por su valor como mitigadores ante el cambio climático como por su resiliencia ante los eventos naturales de impacto local con peligro de efectos catastróficos.

Literatura citada

- Anderson, J., & Bausch, C. (2006). *Climate change and natural disasters: Scientific evidence of a possible relation between recent natural disasters and climate change*. Policy brief of the EP Environment Committee, IP/A/ENVI/FWC/2005–35. Recuperado de http://www.europarl.eu.int/comparl/envi/pdf/externalexpertise/ieep_61eg/naturaldisasters.pdf.
- Boyd, J., & Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 63(2-3), 616-626.
- Breshears, D. D., & Allen, C.D. (2002). The importance of rapid, disturbance-induced losses in carbon management and sequestration. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 11, 1–15.
- Constanza, R., d’Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., . . . van den Belt, M. (1997). The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Daily, G. C., Alexander, S., Ehrlich, P. R., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P. A., . . . Woodwell, G. M. (1997, Spring). Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural. *Issues in Ecology*, 2. Recuperado de <http://www.esa.org/esa/wp-content/uploads/2013/03/issue2.pdf>
- Emanuel, K. A. (1987). The dependence of hurricane intensity on climate. *Nature*, 326, 483-485. doi:10.1038/326483a0
- Escobar, J. (1999). *Fenómenos climáticos y vulnerabilidad: La ecuación determinante de los desastres*. Comisión Económica para Latino América y el Caribe, 99-10-692.

- Ewel, K. (1997). Water quality improvement: Evaluation of an ecosystem service. In G. Daily (Ed). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems* (pp. 329-344). Washington, D.C.: Island Press.
- Fischer, G., Tubiello, F. N., van Velthuizen, H., & Wiberg, D. A. (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990-2080. *Technological Forecasting and Social Change*, 74, 1083-1107. doi:10.1016/j.techfore.2006.05.021.
- Fisher, B., Turner, K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68 (3), 643-653. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.09.014
- Gómez Sal, A. (2013). Sostenibilidad ecológica y dimensiones evaluativas de la Agricultura. *Cuaderno Técnico Sociedad Española de Agricultura Ecológica*. Serie Agroecología y Ecología Agraria. 73 pp.
- Gómez, Sal, A., Belmontes, J. A., & Nicolau, J. M. (2003). Assessing landscape values; a proposal for a multidimensional conceptual model. *Ecological Modelling*, 168: 319-341.
- Gómez-Sal, A. (2001). Aspectos ecológicos de los sistemas agrícolas. Las dimensiones del desarrollo. En J. Labrador & M.A. Altieri (eds.), *Agroecología y desarrollo* (pp.83-119). Mundi Prensa, 83-119.
- Gómez-Sal, A., & Vélez, R. L. A. (2008). Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala del paisaje, *Arbor*, 184(729), 31-44. doi:10.3989/arbor.2008.i729.159
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (1995). Segunda evaluación cambio climático e informe al 1995. PNUMA/OMM, 71pp.
- Guoyi, Z., Sun, G., Wang, X., Chuanyan, Z., McNulty, S. G., Vose, J. M., & Amatya, D. M. (2008). Estimating forest ecosystem evapotranspiration at multiple temporal scales with a dimension analysis Approach. *Journal of the American Water Resources Association*, 44(1), 208-221. doi: 10.1111/j.1752-1688.2007.
- Hannah, L., Midgley, G., Andelman, S., Araújo, M., Hughes, G., Martínez-Meyer, E., . . . Williams, P. (2007). Protected area needs in a changing climate. *Ecological Environment*, 5(3), 131-138.
- Hibbard, K. A., Crutzen, P. J., Lambin, E. F., Liverman, D., Mantua, N. J., McNeill, J. R., ... Steffen, W. (2006). Decadal interactions of humans and the environment. In R. Costanza, L. Graumlich, & W. Steffen (Eds.). *Integrated history and future of people on earth* (pp.341-375). Dahlem workshop report 96. Boston, MA: MIT Press.
- Hillel, D. (1991). *Out of the earth: Civilization and the life of the soil*. New York: The Free Press.

- Kareiva, P., Watts, S., McDonald, R., & Boucher, T. (2007). Domesticated nature: Shaping landscapes and ecosystems for human welfare. *Science*, 316:1866-1869.
- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., & White, K. S. (2001). *Climate change 2001: Impacts, adaptation & vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). United Kingdom: Cambridge University Press.
- Meadows, D. H. (1998). *Indicators and information systems for sustainable development*. A Report to the Balaton Group. The Sustainability Institute, Hartland Four Corners, VT, <http://sustainabilityinstitute.org/pubs/Indicators&Information.pdf>, accessed 06/07/07.
- Meehl, G. A., Karl, T., Easterling, D. R., Changnon, S., Pielke Jr, R., Changnon, D., ... & Zwiers, F. (2000). An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), 413-416. doi:10.1175/1520-0477(2000)081<0413:AITTIE>2.3.CO;2
- Meyerson, L. A., Baron, J., Melillo, J., Naiman, R. J., O'Malley, R. I., Orians, G., ... Sala, O. E. (2005). Aggregate Measures of ecosystem services: can we take the pulse of nature? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(1), 56-59. doi:10.1890/1540-9295(2005)003[0056:AMOESC]2.0.CO;2
- Millar, C. I., Stephenson, N. L., & Stephens, S. L. (2007). Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications*, 17, 2145-2151.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. [PDF] Washington, DC: World Resources Institute. Recuperado de <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Milly, P. C. D., Dunne, K. A., & Vecchia, A. V. (2005). Global pattern of trends in stream flow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438(17), 347-350.
- Ming, J, Xian, L, Lin-shu X., Li-juan, C., & Shouzheng, T. (2007). Flood mitigation benefit of wetland soil - A case study in Momoge National Nature Reserve in China. *Ecological Economics*, 61(2-3), 217-223.
- Organization of American States. (2004). Managing natural hazard risk: Issues and challenges. *Policy Series*, 4. Recuperado de https://www.oas.org/dsd/policy_series/4_eng.pdf
- Pielke, Jr, R. A., Rubiera, J., Landsea, C., Fernández, M. L., & Klein, R. (2003). Hurricane vulnerability in Latin America and the Caribbean: Normalized damage and loss potentials. *Natural Hazards Review*, 4(3)101. doi:10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(101)

- Pielke, Jr., R. A. (2000). Floods impacts on society. In D.J. Paker (ed.) *Floods* (p. 136-155). London: Routledge.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., . . . Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267(5201), 1117-1123. Recuperado de <http://www.jstor.org/>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., III, Lambin, E., . . . Foley. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(32). Recuperado de <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Running, S. W., & Mills, L. S. (2009). *Terrestrial ecosystem adaptation. Climate policy program at resources for the future report*. Recuperado de <http://www.montana.edu/hansenlab/documents/labreadings2011/RunningMills2009.pdf>
- Smith, M., de Groot, D., Perrot-Maître, D., & Bergkamp, G. (2006). Pay – Establishing payments for watershed services. Gland, Switzerland: IUCN. Reprint, Gland, Switzerland: IUCN, 2008. Recuperado de <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2006-054.pdf>
- Steffen, W., Crutzen, P. J., & McNeill, Jr. (2007). The Anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of Nature? *Ambio. A Journal of the Human Environment*, 36, 614–621. doi:10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2
- United Nations Environment Programme. (2008). *UNEP 2008: Annual report*. ISBN: 978-92-807-2007-9. Recuperado de http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=4013
- United States Climate Change Science Program. (2009). *Thresholds of climate change in ecosystems. A report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research* [Fagre, D. B., C. W. Charles, C. D. Allen, C. Birkeland, F. S. Chapin III, P. M. Groffman, G.R. Guntenspergen, A.K. Knapp, A. D. McGuire, P. J. Mulholland, D.P.C. Peters, D. D. Roby, and George Sugihara]. U.S. Geological Survey, Reston, VA. Recuperado de http://www.sel.uaf.edu/manuscripts/bk18_Fagre-Thresholds-sap4-2-final-report-all.pdf
- URS & School of Environmental Affairs. (2002). *Integrated hazard assessment for the island of Puerto Rico*. Universidad Metropolitana. Agencia Federal de Emergencias Ambientales. Recuperado de http://www.suagm.edu/umet/pdf/ambientales/fema_pr_multyhazards_2002-lowres.pdf
- World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, & Meridian Institute. (2008). *The corporate ecosystem services review: Guidelines for identifying business risks & opportunities arising from ecosystem change*. Recuperado de http://pdf.wri.org/corporate_ecosystem_services_review.pdf

RELACIÓN ENTRE LA INCIDENCIA DE CONJUNTIVITIS ALÉRGICA Y EL MATERIAL PARTICULADO

*Alex Javier Soto Vega¹, MSEM, María Calixta Ortiz, MSEM, Ph.D.¹,
Hilda Bithorn, OD²*

Recibido 6 de julio de 2015; aceptado 28 de octubre de 2015

Resumen – Este estudio evaluó datos secundarios para establecer la relación entre el material particulado y la incidencia de conjuntivitis alérgica en Puerto Rico. Los datos secundarios componían 244 casos de conjuntivitis alérgica ocurridos en el 2013. Las concentraciones mensuales de PM_{10} y $PM_{2.5}$ fueron obtenidas de la estación de monitoreo de la Junta de Calidad Ambiental ubicada en Guaynabo. A su vez, los datos de precipitación promedio mensual fueron obtenidos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. La incidencia de conjuntivitis alérgica fue mayor (56,6%) para las féminas, y para el grupo de edad de 0-17 años y 36-72 años. Este estudio no demostró una relación significativa entre la conjuntivitis alérgica y la precipitación promedio ni el promedio de partículas mensual de PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Palabras clave: Material particulado, PM_{10} , $PM_{2.5}$, incidencia, conjuntivitis alérgica, Puerto Rico

Abstract – This study assessed secondary data to establish the relationship between particulate matter and the incidence of allergic conjunctivitis in Puerto Rico. Secondary data was composed of 244 cases of allergic conjunctivitis during 2013. Monthly concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ were obtained from the Environmental Quality Board monitoring station located in Guaynabo. Mean monthly rainfall data was obtained from the National Oceanic and Atmospheric Administration, as well. The incidence of allergic conjunctivitis was higher (56.6%) for females, and for the age-groups of 0-17 years and 36-72 years. This study showed no significant relationship between allergic conjunctivitis and average rainfall, nor to the monthly average particulate PM_{10} and $PM_{2.5}$.

Key words: Particulate matter, PM_{10} , $PM_{2.5}$, incidence, allergic conjunctivitis, Puerto Rico

Introducción

Las zonas metropolitanas poseen mayor población por milla cuadrada, así como mayor tráfico de vehículos y zonas impactadas por la industrialización. Estas fuentes son altamente reconocidas como productoras de contaminantes que afectan la calidad del aire (Díaz, Pontón, 2008; Quijano-Parra & Orrozco, 2005). La variabilidad climática puede influir en la atmósfera para aportar, dispersar o concentrar estos contaminantes en el aire (Bolaños, 2010). La cantidad de los

¹ Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, Email: alex_jcv@yahoo.com; um_mortiz@suagm.edu

² Optómetra Oficina Centro Visual, Caguas, PR 00726

alérgenos en el aire pueden aumentar principalmente debido al incremento en temperaturas y precipitación, así como la concentración en que se encuentra el contaminante. Estos alérgenos afectan mayormente las poblaciones más sensibles como lo son los niños y ancianos (Environmental Health Perspectives & the National Institute of Environmental Health Sciences, 2010). Por la peligrosidad de estos contaminantes, la Organización Mundial de la Salud (OMS) propuso nuevos límites en el 2005, debido a que estudios han demostrado que el PM puede afectar aún en concentraciones muy bajas.

El material particulado (PM, por sus siglas en inglés) es una mezcla compleja de partículas extremadamente pequeñas y gotitas de líquido compuestas de carbón, aerosoles así como las reacciones químicas que se llevan a cabo entre los nitratos, sulfatos, productos orgánicos, metales, amoníaco, polvo, cloruro sódico y agua presentes en el PM (Barrios, Peña-Cortes & Osses, 2004; Fernández, 2001). El PM es uno de los contaminantes del aire más temidos porque afecta a una mayor cantidad de personas y provoca problemas perjudiciales a la salud. Estos se clasifican en dos tamaños. Las partículas más grandes están catalogadas como PM_{10} , las cuales tienen un diámetro inferior a 10 micrómetros (μm) y las partículas más pequeñas $PM_{2.5}$ tienen un diámetro inferior a 2.5 μm . El estándar primario anual permisible para $PM_{2.5}$ aplicable a Puerto Rico es de 12 microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$), el cual es promediado a tres años. Para el estándar primario y secundario en 24 horas es de 35 $\mu g/m^3$ promediado a tres años. El estándar primario y secundario de PM_{10} se mide en 24 horas, el cual no puede excederse de 150 $\mu g/m^3$ más de una vez por año en un promedio de tres años (USEPA, 2015).

Una de las condiciones de salud que ha sido asociada con el material particulado es la conjuntivitis alérgica, la cual se diagnostica en las prácticas oftálmicas. La condición es el resultado de la inflamación de la conjuntiva ocular. A nivel mundial, la conjuntivitis alérgica representa el 66% de las condiciones oculares observadas en clínicas oftalmológicas (Bartra Tomas & Arrondo Murillo, 2003). Se puede adquirir a través de diferentes fuentes como lo son los alérgenos ambientales, las sustancias químicas ya mencionadas y organismos infecciosos (Wong, Gómez, Delgado & Tello, 2008). Entre los alérgenos ambientales se encuentran el polvo, hongos, ácaros y el polen.

Nuestro clima tropical acompañado de los vientos alisios provoca condiciones climáticas que intervienen en la concentración de partículas en el aire como las partículas orgánicas, virus, bacterias, hongos y polen (Quintero, Rivera-Mariani & Bolaños, 2010). Los hongos aumentan en la atmósfera cuando aumenta la humedad relativa (Rivera-Mariani & Bolaños-Rosero, 2011). Se ha encontrado que las concentraciones de hongos en Puerto Rico incrementan en los meses de septiembre y octubre, ya que son temporadas altas de lluvia (Bolaños, 2011). Los efectos de las

esporas se pueden ver afectados por la velocidad del viento, la temperatura, humedad y lluvia entre otros factores atmosféricos.

Otros factores que intervienen son los cientos de millones de toneladas de polvo que llegan al Caribe desde los desiertos de África a finales de la primavera, el verano y principios del otoño (Prospero, Bonatti, Schubert & Carlson, 1970; Kasper, 2009). Según el Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS, 2015), esta capa de polvo ocurre entre los 5,000 y 15,000 pies sobre el nivel del mar, el cual se deposita en playas en el Caribe y fertiliza los suelos. La capa de aire sahariano (SAL) contiene aire muy seco y polvo mineral, el cual afecta la calidad del aire y eleva el índice de calor (CIMSS, 2015).

No hemos encontrado estudios en Puerto Rico que relacionen la conjuntivitis alérgica con el material particulado. La gran mayoría de los estudios relacionan el PM con la rinitis, asma y otras condiciones alérgicas. Este estudio analiza la incidencia de conjuntivitis alérgica en casos de residentes de Guaynabo para determinar los patrones por grupos de edad, género y estacionalidad. Además evalúa la relación entre el material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} con la conjuntivitis alérgica.

Métodos

En este estudio, utilizamos datos de naturaleza secundaria, como la concentración anual de material particulado en unidades de microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para $PM_{2.5}$ y PM_{10} recolectadas en el área de estudio por la JCA durante el 2013. Además, de la precipitación promedio mensual recopilada por National Oceanic and Atmospheric Administration durante el 2013. También utilizamos un reporte de 244 casos de conjuntivitis alérgica ocurridos en el 2013 en el área de estudio. Para el análisis descriptivo, los casos se dividieron por grupos de edad: 0-17 años, 18-35 años, 36-53 años, de 54-71 años y mayor o igual a 72 años, según el estudio de Perozo y Rincó (2007). Los datos de CA fueron evaluados por mes de ocurrencia. La variable estacionalidad se dividió por meses de lluvia y meses secos, según Malmgren y Winter (1999) en la que de mayo a noviembre son los meses de lluvia, y de diciembre a abril son los meses secos. Para analizar si existía relación entre la variable dependiente (conjuntivitis alérgica) y las variables independientes (concentración de material particulado y periodo de estacionalidad) utilizamos análisis inferencial. Los análisis estadísticos los llevamos a cabo utilizando el programa SPSS, versión 22.

Resultados y discusión

Evaluamos un reporte de 244 casos de conjuntivitis alérgica durante el 2013 (Tabla 1). De este total, 138 (56.6%) fueron del género femenino, mientras que 106 (43.4%) fueron del género masculino.

Tabla 1

Distribución de los casos con conjuntivitis alérgica por género durante 2013

Género	n	%
Femenino	138	56.6
Masculino	106	43.4
Total	244	100.0

La distribución de casos de CA por edad demostró que la categoría de edad 0-17 fue la de mayor frecuencia con 63% de casos. Esto coincide con Perozo y Rinco (2007), quienes determinaron que el grupo de edad más afectado por esta condición es el de 0-17 años de edad, mientras que el grupo menor fue de 36-53 años con 9.8 %. En nuestro estudio, la categoría de edad de menor porcentaje de incidencia de CA fue la de 72 años o más con 9.8%.

En términos generales, la frecuencia de casos con CA del género femenino superó a los del género masculino en la mayoría de los grupos de edad. En el grupo de 18 a 35 años, las casos de femeninas son poco más del doble que los casos masculinos (Figura 1). Perozo y Rubio (2007) también determinaron que la condición de CA estaba más asociada al género femenino, aunque demostraron que los factores étnicos son determinantes con la prevalencia de esta condición, así como la época del año. Entre uno de los factores de asociación para el aumento en frecuencia de casos en las féminas, se encuentra el maquillaje y el tiempo de exposición, cuando muchos alérgenos se pueden adherir al mismo (López, García, & Martínez, 2003). Según López et al. (2003), el maquillaje puede estar expuesto por algún tiempo determinado al aire y la ventilación y puede ser un factor de riesgo para que se propaguen los alérgenos al mismo.

La única excepción a este patrón en las féminas, se observó en el primer grupo de edad (0 a 17 años), en el cual la frecuencia de casos del género masculino superó la cantidad en las féminas (Figura 1). Se ha demostrado que la conjuntivitis alérgica en la niñez se asocia como una enfermedad única y se relaciona con otros padecimientos alérgicos, entre ellos el asma (Zepeda, Rosa, Tsuchiya, del Río, & Sienna, 2007). Estudios han demostrado que en las edades de entre 6 a 14 años, el asma es más prevaleciente en el género masculino (Mendoza, Romero, Peña-Ríos & Vargas, 2001; Munayco, Aran, Torres-Chang, Saravia, & Soto-Cabezas, 2009). El asma está fuertemente relacionado con factores ambientales al igual que la conjuntivitis alérgica. Del mismo modo, se ha asociado a muchos factores como el mantenimiento de planta física, tanto de las instituciones escolares como del área de trabajo. Rodríguez & Alonso (2004) demostraron que los factores ambientales influyen en la presencia del síndrome de edificio enfermo.

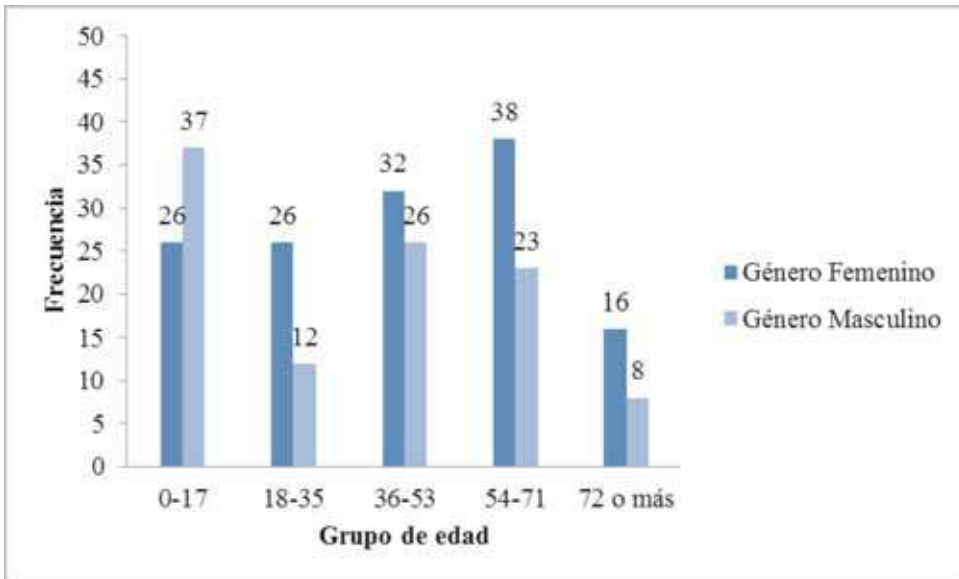


Figura 1. Frecuencia de casos con conjuntivitis alérgica por grupos de edad y género.

La incidencia de conjuntivitis por mes fue variable. Los resultados temporales variaron desde un mínimo de 13 casos (5.3%) en el mes de noviembre, hasta un máximo de 28 casos (11.5%) en los meses de abril y agosto (Tabla 2). Los cuatro meses de mayor incidencia fueron los meses de abril, julio, agosto y octubre. Esto puede estar asociado a los efectos del clima, como la precipitación, ya que estos meses, excepto por abril, están identificados como meses de lluvia. El Servicio Nacional de Meteorología en San Juan destacó el 2013 como uno de los años más lluviosos (85.07 pulgadas) en Puerto Rico (Banuchi, 2013). Además, la precipitación es uno de los factores que más promueven la presencia de esporas de hongos en Puerto Rico a través de todo el año (Quintero et al., 2010).

Tabla 2

Frecuencia de casos con conjuntivitis alérgica por mes

Mes	Frecuencia	%
Ene	14	5.7
Feb	16	6.6
Mar	24	9.8
Abr	28	11.5
May	19	7.8
Jun	18	7.4
Jul	25	10.2
Ago	28	11.5
Sep	18	7.4
Oct	27	11.1
Nov	13	5.3
Dic	14	5.7
Total	244	100.0

Con el propósito de estudiar la relación de los casos CA con la precipitación, comparamos el promedio de la incidencia de los casos de CA con la temporada de lluvia y sequía mediante una prueba *t* para grupos independientes. Dicha prueba toma en consideración la diferencia entre los tamaños de los grupos contrastados (es decir, la cantidad de meses en cada temporada en este caso). El resultado de la prueba *t* demostró que, a pesar de la diferencia entre las frecuencias, no existe diferencia significativa entre los promedios de la incidencia de CA durante la temporada de sequía ($M = 19.25$, $DT = 6.292$) ni durante la temporada de lluvia ($M = 20.88$, $DT = 5.817$), $t(10) = 0.445$, $p = 0.666$.

Durante los meses de abril, julio, agosto y octubre también coincide con la entrada del polvo del Sahara (Prospero, Bonatti, Schubert, & Carlson, 1970; Kasper, 2009). La correlación entre la incidencia de CA, la precipitación, el particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ no demostró nivel de significancia. La única correlación significativa obtenida fue entre la concentración de $PM_{2.5}$ y la concentración de PM_{10} , entre las cuales se reflejó una asociación ($r = 0.909$, $n = 12$, $p \leq 0.01$). El polvo del Sahara ha sido asociado a condiciones cardiovasculares y respiratorias; sin embargo para conjuntivitis no existen resultados concluyentes (De Longueville, Ozer, Doumbia, & Henry, 2013).

Conclusiones y recomendaciones

Este estudio corroboró que los casos de CA varían de acuerdo al grupo de edad, donde el género masculino es más propenso en edades de 0 a 17 años y las féminas en general son más propensas en todos los demás grupos de edad. Sin embargo, el estudio no pudo demostrar relación entre la conjuntivitis alérgica y el material particulado ni con la precipitación por temporada. Otros estudios han determinado su relación con la presencia de los diferentes factores ambientales como lo es por ejemplo el hongo, ácaros, polen y mohos (Zepeda et al., 2007). Las limitaciones están relacionadas con la naturaleza secundaria de los datos utilizados, lo cual no permite diseñar el control de las variables. Las lecturas del monitoreo de las concentraciones de PM son mensual. Los datos de precipitación no cubren la secuencia de una temporada completa de sequía, limitando el análisis de estacionalidad. La muestra de casos no incluyó todas las oficinas oftálmicas del municipio de Guaynabo. Un estudio futuro de esta índole, debe incluir datos del Saharan Air Layer (SAL) para evaluar su posible relación con conjuntivitis alérgica.

La conjuntivitis alérgica tiene un impacto económico en la administración de la salud pública. El costo de los servicios puede ser un factor limitante para los pacientes, ya que las aseguradoras no cubren todos los medicamentos recetados por un oftalmólogo. Una población educada sobre medidas de prevención y cuidado de condiciones oculares tiene la capacidad de fomentar cuidados a exposiciones ambientales que puedan afectar su salud visual. Concienciar a la población sobre la presencia de alérgenos ambientales puede ayudar a disminuir los usos de servicios de salud y sus costos.

Agradecimientos

A la Junta de Calidad Ambiental, Dr. Ezer Camacho, Dra. Diana Martínez, Dr. Héctor Manuel Mayol.

Literatura citada

Amaya Perozo, C. X. & Rubio Rincó, G. S. (2007). Conjuntivitis alérgica, un problema visible en hospitales de Bogotá y Cundinamarca. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 8, 45-50. Universidad de la Salle Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/sv/index>

Banuchi, R. (29 de diciembre de 2013). 2013 será el cuarto año más lluvioso en la historia reciente. Recuperado de <http://www.primerahora.com/noticias/puerto-rico/nota/2013seraelcuartoanomaslluviosoenlahistoriareciente-979583/>

- Barrios, S., Peña-Corte, F., & Osses, S. (2004). Efectos de la contaminación atmosférica por material particulado en las enfermedades respiratorias agudas en menores de 5 años. *Ciencia y Enfermería*, 10(2), 21-29. doi: 10.4067/S0717-95532004000200004
- Bartra, J. & Arrondo, E. (2003). *Actualización en alergia ocular*. Barcelona: Editorial Glosa. [PDF]. Recuperado de <http://www.sld.cu/galerias/>
- Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (2015). *Tropical cyclones: A satellite perspective*. Recuperado de <http://tropic.ssec.wisc.edu/real-time/salmain.php?&prod=splitE>
- Díaz Pontón, J. (2008). *Estudio sobre la caracterización del material particulado en el área del barrio Amelia, Guaynabo*. (Tesis maestría sin publicar). Universidad Metropolitana, San Juan. Recuperado de <http://www.suagm.edu/umet/biblioteca/>
- De Longueville, F., Ozer, P., Doumbia, S., & Henry, S. (2013). Desert dust impacts on human health: an alarming worldwide reality and a need for studies in West Africa. *International Journal of Biometeorology*, 57(1), 1-19. doi: 10.1007/s00484-012-0541-y
- Environmental Health Perspectives and the National Institute of Environmental Health Sciences (2010). *A human health perspective on climate change: A report outlining the research needs on the human health effects of climate change*. Recuperado de http://www.niehs.nih.gov/health/materials/a_human_health_perspective_on_climate_change_full_report
- Gyan, K., Henry, W., Lacaille, S., Laloo, A., Lamsee-Ebanks, C., McKay, S., ... & Monteil, M. A. (2005). African dust clouds are associated with increased pediatric asthma accident and emergency admissions on the Caribbean island of Trinidad. *International Journal of Biometeorology*, 49(6), 371-376. doi:10.1007/s00484-005-0257-3
- Kasper, K. B. (2009, January). *A study of the impacts of a Saharan air layer plume over the Florida Keys*. [Poster Session 1, Coastal atmospheric and oceanic processes]. Eight Conference on Coastal Atmospheric and Oceanic Prediction and Processes, Phoenix Arizona. American Meteorological Society.
- López, J., García, I., & Martínez Garchitorena, J. (2003). Estimación del grosor de la capa lipídica lagrimal mediante colores interferenciales en distintos tipos de ojo seco. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 78(5), 257-264. doi 10.4321/S036566912003000500005
- Mendoza, A., Romero, J. A., Peña-Rios, H. D., & Vargas, M. H. (2001). Prevalencia de asma en niños escolares de la ciudad mexicana de Hermosillo. *Gaceta Médica de México*, 137(5).

- Munayco, C. V., Aran, J., Torres-Chang, J., Saravia, L., & Soto-Cabezas, M. G. (2009). Prevalencia y factores asociados al asma en niños de 5 a 14 años de un área rural del sur del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 26(3), 307-313.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Calidad de aire y salud* (Informe No. 313). OMS. Recuperado de <http://www.who.int/>
- Prospero, J. M., Bonatti, E., Schubert, C., & Carlson, T. N. (1970). Dust in the Caribbean atmosphere traced to an African dust storm. *Earth and Planetary Science Letters*, 9(3), 287-293.
- Quintero, E., Rivera-Mariani, F., & Bolaños-Rosero, B. (2010). Analysis of environmental factors and their effects on fungal spores in the atmosphere of a tropical urban area (San Juan, Puerto Rico). *Aerobiologia*, 26(2), 113-124. doi:10.1007/s10453-009-9148-0
- Wong, C., Gómez, A., Delgado, J., & Tello, A. (2008). Conjuntivitis alérgica. *MedUNAB*, 11(2), 168-175. Recuperado de: <http://www.virgiliogalvis.com/index.php>
- Zepeda, B., Rosa, M., Tsuchiya, F. M. I., Del Río, B., & Sienna, J. (2007). Conjuntivitis alérgica en la infancia. *Revista Alergia México*, 54(2), 41-53. Recuperado de: <http://www.imbiomed.com.mx/>
- US Environmental Protection Agency. (2015). *National ambient air quality standards (NAAQS)*. Recuperado de http://www3.epa.gov/ttn/naaqs/criteria.html#_ga=1.98774363.454508392.1446131870

A REVIEW OF RAMAN LIDAR TECHNIQUES FOR ATMOSPHERIC MONITORING AT HOWARD UNIVERSITY BELTSVILLE CAMPUS

Demetrius D. Venable, Ph.D.¹

Received August 6, 2015, accepted September 11, 2015

Abstract – The Howard University Raman Lidar has been operational since 2004, and provides data in support of research on climate system observations and atmospheric science conducted at the Howard University Beltsville campus. This paper reviews (1) technical aspects of the Lidar system, and (2) data analysis techniques used to recover atmospheric parameters important to meteorological and climate change studies.

Key words: Lidar, atmospheric measurements

Resumen – La Universidad Howard Raman Lidar ha estado en funcionamiento desde 2004, desde cuando proporciona datos en apoyo de la investigación en las observaciones del sistema climático y la ciencia atmosférica llevados a cabo en el campus de la Universidad de Howard Beltsville. Este artículo expone (1) aspectos técnicos del sistema Lidar, y (2) técnicas de análisis de datos utilizados para recuperar los parámetros atmosféricos importantes para estudios meteorológicos y el cambio climático.

Palabras clave: Lidar, análisis atmosférico

Introduction

The Howard University Beltsville campus is located in Beltsville, Maryland, approximately 20 km north of Washington, DC. The campus consists of 110 acres of undeveloped property located in an area that is undergoing a transition from being primarily rural to light industry and suburban in character. The campus is fully dedicated to research initiatives. Activities at the campus are led by a multidisciplinary group of Howard University faculty and research staff in partnership with federal and state agencies, other academic institutions, and private industries. The current focus at the Beltsville campus is on predictability of weather and climate; weather and air quality monitoring; and hands-on experiences with instrumentation – including operations, maintenance, methodology, measurement capability, data handling, data reduction, and error analysis. The campus offers opportunities for students for experiential learning, research, and mentorship that lead toward advanced degrees in atmospheric sciences, chemistry, physics, engineering, and other disciplines that focus on atmospheric research. Primary funded efforts emphasize providing opportunities for students from underrepresented groups.

¹Department of Physics and Astronomy, Howard University, Washington, DC 20059. Email: dvenable@howard.edu

Beltsville campus researchers maintain a variety of instrumentation for monitoring atmospheric related parameters and making radiation measurements in support of research activities. A partial listing of selected instrumentation is given in Table 1.

Table 1

Partial listing of instrumentation at the Beltsville Campus

Category	Instrumentation/Measurement Type
Meteorology	Air Temperature, Relative Humidity, Air Pressure, Wind Sensor, Infrared Gas Analyzer, Sonic Anemometer
Soil and Precipitation	Thermocouple, Time Domain Reflectometer, Soil and Heat Flux Plate, Rain Gauge, Disdrometer
Chemistry	O ₃ , NO _x , SO ₂ , CO, Aerosol Analyzer, Cloud Condensation Nuclei Counter
Radiation	Pyranometer, Multi-filter Rotating Shadow-band Radiometer, Pyrgeometer, Photosynthetically Active Radiation, Solar/Terrestrial/Total Radiation
Remote Sensing	Microwave Radiometer, Ceilometer, Raman Lidar
Sounding	Ozonesonde, Radiosonde

Method

The Howard University Raman Lidar (HURL) has been operational at the Howard University Beltsville campus since 2004. Specifically, the Lidar program collects data to complement other instruments located at the campus, supports efforts of funding agencies, and investigates atmospheric dynamics with emphasis on water vapor mixing ratio in the troposphere. The Lidar is used to characterize temporal and vertical distributions of water vapor and dynamics processes both within and above the planetary boundary layer. Water vapor is important when considering atmospheric chemistry, radiation, and dynamics. Because of its variability in the atmosphere, water vapor provides challenges to measuring high resolution temporal and spatial profiles over the full range of the lower troposphere, upper troposphere, and lower stratosphere. Water vapor is a critical component for predicting weather and monitoring climate change (Whiteman, Vermeesch, Oman, & Weatherhead, 2011). The Raman Lidar group has engaged in developing enhancements for Lidar measurement techniques, developing technology for independently characterizing Raman Lidar system parameters, and technology transfer of methods and techniques developed in our laboratories to the broader scientific community.

The Raman Lidar is based on Raman scattering by nitrogen and water vapor molecules. The amount of energy lost in the inelastic scattering event is characteristic of the scattering molecule. The energy shifts for the scattered photons when molecules are excited from the ground state to the first excited vibrational state for nitrogen and water vapor are 2330.7 cm^{-1} (Long, 2002), and 3654.0 cm^{-1} (Avila, Fernández, Tojeda, & Montero, 2004), respectively. HURL utilizes the third harmonic of a Nd-YAG laser at a wavelength of 354.7 nm. The corresponding wavelengths of the scattered photons are thus 386.7 nm for nitrogen scattering and 407.5 nm for water vapor scattering.

HURL is a custom designed coaxial Lidar system that makes both daytime and nighttime measurements of atmospheric water vapor and aerosols. The Lidar uses narrow bandpass interference filters and a narrow field-of-view telescope to measure: (1) the Rayleigh-Mie and pure rotational Raman signals at $354.7 \pm 0.13 \text{ nm}$; (2) the Raman scattered photons from nitrogen molecules at $386.7 \pm 0.13 \text{ nm}$; and (3) the Raman scattered photons from water vapor molecules at $407.5 \pm 0.13 \text{ nm}$. These three wavelength regions are referred to as the three channels of the system, *i.e.*, the Rayleigh-Mie channel for elastic and pure rotational scattering in the vicinity of 354.7 nm (the “Rayleigh-Mie” channel); and the two Raman channels – the “nitrogen” channel and the “water vapor” channel (Venable et al., 2005; Adam et al., 2010). The primary outputs from HURL are water vapor mixing ratios and aerosol scattering ratios derived from the backscattered Lidar signals. The next section gives the appropriate equations for these quantities.

Lidar Equations

The Raman Lidar equation gives the number of scattered photons, P , detected at range z and wavelength.

$$P(\lambda_x, z) = P_L(\lambda_L) \frac{ct}{2} O_x(z) \frac{A}{z^2} F_x(T) \xi(\lambda_x) N_x(z) \frac{d\sigma_{total}(\lambda_x, \pi)}{d\Omega} \exp \left[-\int_0^z [\alpha(\lambda_L, z') + \alpha(\lambda_x, z')] dz' \right] + B(\lambda_x) \quad (1)$$

Here the subscript X refers to the channel (X→L for Rayleigh-Mie, X→N for nitrogen, or X→H for water vapor) being considered, P_L is the initial number of photons transmitted by the laser at wavelength λ_L , O is the overlap function, A is the area of the telescope collector, $ct/2$ is the effective spatial pulse length where c is the speed of light and t is the laser pulse duration or the measurement integration time, N is the number density of scattering particles, $ds(l,p)/dW$ is the total scattering cross section, x is the overall system efficiency, a is the atmospheric extinction coefficient, and B is the number of background photons. The quantity $F(T)$ contains the temperature dependence (Whiteman 2003a) of the Lidar equation and is given by:

$$F_x(T) = \frac{\int_{\Delta\lambda_x} \frac{d\sigma_x(\lambda, T, \pi)}{d\Omega} \xi(\lambda) d\lambda}{\frac{d\sigma_x(\pi)}{d\Omega} \xi(\lambda_x)} \quad (2)$$

The overall system efficiency, $x(l)$, can be expressed as the product of the optical efficiency factor, $e(l)$, and all other efficiencies of the system, $k(l)$; the latter of which can be assumed constant over the narrow bandwidths of the interference filters:

$$\xi(\lambda) = \varepsilon(\lambda) \kappa(\lambda) \quad (3)$$

In this paper, we will utilize the relationships:

$$S(\lambda, z) = P(\lambda, z) - B(\lambda, z) \quad (4)$$

and

$$\Delta\tau(\lambda_x, \lambda_y, z) = \exp \left[-2 \int_0^z [\alpha(\lambda_x, z') - \alpha(\lambda_y, z')] dz' \right] \quad (5)$$

For Rayleigh-Mie scattering (Rayleigh-Mie channel) the applicable Lidar equation is (Whiteman, 2003a)

$$S(\lambda_L, z) = P_L(\lambda_L) O_L(z) \frac{A}{z^2} \frac{ct}{2} \xi(\lambda_L) (F_x(T) \beta^{\text{molecule}}(\lambda_L, z) + \beta^{\text{aero}}(\lambda_L, z)) \exp \left[-2 \int_0^z [\alpha(\lambda_L, z')] dz' \right] \quad (6)$$

and

$$\beta^{\text{molecule}} = N_x(z) \frac{d\sigma(\lambda_L, \pi)}{d\Omega} \quad (7)$$

Here b^{aero} is the backscatter coefficient for Mie scattering from aerosols and b^{molecule} is the backscatter coefficient for molecular scattering.

Water Vapor Mixing Ratio: The water vapor mixing ratio, w , is defined as the mass of water vapor (in kilogram) per kilogram of dry air. The quantity w may be written as (Venable et al., 2011):

$$w(z) = \frac{\text{mass}_H}{\text{mass}_{\text{dryair}}} = \frac{N_H(z) M_H}{N_{\text{dryair}}(z) M_{\text{dryair}}} \approx 0.7808 \frac{M_H}{M_{\text{dryair}}} \left(\frac{N_H(z)}{N_N(z)} \right) \quad (8)$$

The quantities mass_H and $\text{mass}_{\text{dryair}}$ are the masses of the water vapor and dry air, respectively and M is molecular weight. As above, the subscript H represents water vapor and the subscript N represents nitrogen. Since nitrogen is well-mixed in the lower atmosphere, we assume that dry air is composed of approximately 78.08% nitrogen and substitute $N_N \approx 0.7808 N_{\text{dryair}}$. Using Eq. 8 and substituting for the

molecular weights of water vapor ≈ 18.02 g/mole and dry air ≈ 28.97 g/mole, we see that $w(z)$ is derivable from the ratio of measurements of $S(I_{HP}, z)$ and $S(I_{NP}, z)$, *i.e.*,

$$w(z) \approx 0.486 \frac{\kappa(\lambda_N) \frac{d\sigma_N(\pi)}{d\Omega} \varepsilon(\lambda_N) O_N(z) F_N(T) S(\lambda_H, z)}{\kappa(\lambda_H) \frac{d\sigma_H(\pi)}{d\Omega} \varepsilon(\lambda_H) O_H(z) F_H(T) S(\lambda_N, z)} \Delta\tau(\lambda_N, \lambda_H, z) \quad (9)$$

Aerosol Scattering Ratio: The aerosol scattering ratio, A_{SR} , is defined as the ratio of the total scattering coefficient (aerosol plus molecular) to the molecular scattering coefficient,

$$A_{SR} = \frac{\beta_{aerosol} + \beta_{molecular}}{\beta_{molecular}}. \quad (10)$$

Using Eqs. 1, 6, and 10, we see that A_{SR} is derivable from the ratio of measurements of $S(I_L, z)$ and $S(I_{LP}, z)$, *i.e.*, (Whiteman, 2003b):

$$A_{SR}(z) \approx 1 + .7808 \frac{\frac{d\sigma_i(\lambda_N, \pi)}{d\Omega} \varepsilon(\lambda_N)}{\frac{d\sigma_i(\lambda_L, \pi)}{d\Omega} \varepsilon(\lambda_L)} F_N(T) \frac{O_N(z) S(\lambda_L, z)}{O_L(z) S(\lambda_N, z)} \Delta\tau(\lambda_N, \lambda_L, z) - F_L(T). \quad (11)$$

A_{SR} is typically calibrated (normalized) by setting Eq. 10 equal to 1 in a region of the atmosphere that is expected to be free of aerosols. This condition is usually met at high altitudes when cirrus clouds, volcanic ash, smoke, etc. are known not to be present.

Simplified Lidar Return

A simplified model of the behavior of the Lidar equation reveals that without the overlap term the returned signal would primarily decrease as $1/z^2$ as the range (altitude) increases (Wandinger, 2005). This is indicated by the dashed lines (green – Rayleigh-Mie scattering and blue – Raman scattering) in Figure 1.

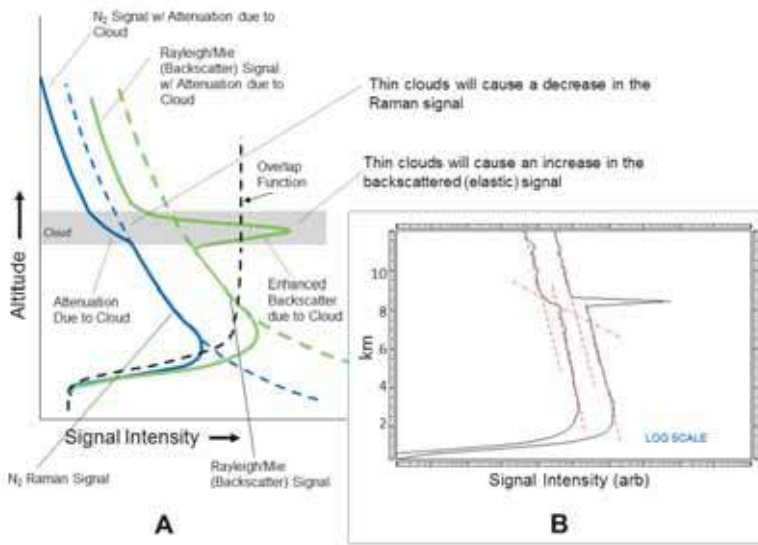


Figure 1. (A) Schematic representation of simplified Lidar returns and (B) actual range corrected Lidar signals plotted on a log scale. For the cases shown in (B) an optically thin cloud was located at an altitude of ~8.5 km. The dashed red lines in (B) are used to highlight changes in the profile shape.

Signals close to the aperture of the telescope (altitude approaches zero) are attenuated due to incomplete overlap of the telescope's field of view and the signal source (Measures, 1984). This region of incomplete overlap is primarily impacted by shadowing of the telescope's secondary mirror and non-optimum focusing of the near field source. Here it is assumed that the telescope is designed for focusing of a source located at infinity. An idealized overlap function ranging from a value of 0 at ground level to a value of 1 at an altitude that corresponds to complete overlap of the source and the telescope's field of view is represented by the dashed black line. Because of the incomplete overlap the actual detected signal starts near 0 in the near field and increases to a local maximum value near the region of complete overlap. The described behavior is the same for both the Rayleigh-Mie and Raman channels. The overlap factor in Eqs. 1 and 6 correct for this behavior. The solid green and blue lines at low altitudes indicate the behavior of the idealized signal at altitudes near zero. In a region of optically thin clouds or aerosol layers the Rayleigh-Mie and Raman signals behave differently. The former shows a spike in the return signal due to the impact of $b^{aerosol}$. The Raman signal shows enhanced attenuation of the return signal. Both show possible attenuation of the laser by the aerosol layer. We assume that the cloud or aerosol layer is optically thin so that the transmitted and return photons are not totally attenuated by the layer. The resulting

signals are depicted by the solid green (Rayleigh-Mie) and solid blue (Raman) lines. Actual signals from the Lidar system are shown in Figure 1B where a thin cloud is located at approximately 8.5 km. These signals show the same basic characteristics as described by the simple model.

HURL system block diagram

A block diagram of the HURL system is shown in Figure 2. The system is capable of operating in either external or internal trigger modes. The former mode is required when other Lidar systems using the same wavelengths are co-located with HURL. The laser is a Continuum Model 9030 operated at 30 Hz with average output power of 10 to 12 W. Prior to transmission into the atmosphere, the beam’s diameter is expanded by a factor of 15 to make the laser eye safe to fixed-wing airplanes flying overhead. The beam is transmitted coaxially with the optical axis of the telescope. The receiving telescope has a 16 inch diameter primary mirror and is a fiber optic coupled f/3 system with a field of view of 250 mrad. The system is designed to maintain thermal stability against bore sight misalignment at ± 15 C (Venable et al., 2005).

The wavelength separation unit (l Separator in Figure 2) is optically fiber coupled to the focus of the telescope and uses a combination of collimating lenses, narrow bandpass ($D1 \approx 0.25$ nm) interference filters, and dichroic beam splitters to extract the desired wavelengths from the collected light signal. The wavelength separation unit directs the light of interest (photons at 354.7, 386.7, and 407.5 nm) to three separate photomultiplier tubes. The photomultiplier signals are analyzed with

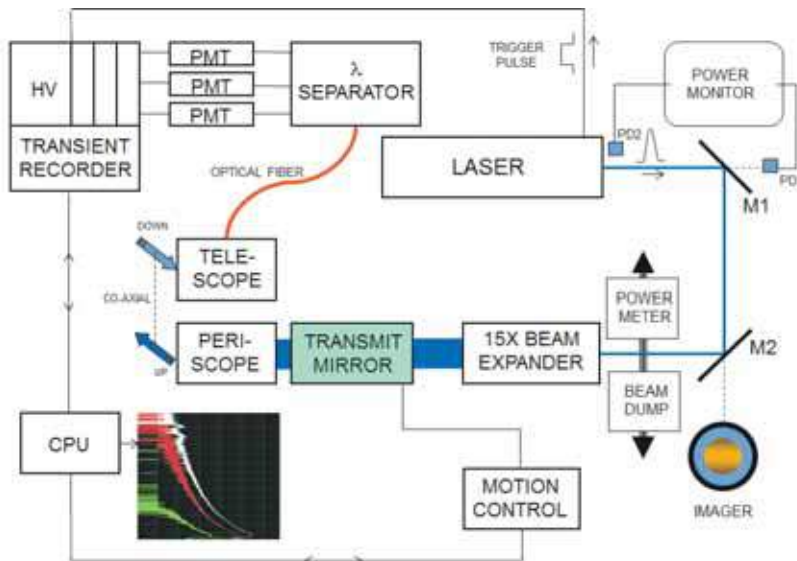


Figure 2. HURL system block diagram.

the use of Licel[®] transient recorders [Licel GmbH]. These recorders simultaneously utilize analog and photon counting circuitry. The signals are combined by a process referred to as “gluing” (Walker, Venable, & Whiteman, 2014; Adam et al., 2010; Whiteman et al., 2006) that provide an effective dynamic range that is significantly larger than that of either photon counting or analog detection used individually. These recorders accumulate data in 16,000 bins at an integration time of 50 ns per bin resulting in a spatial (range) resolution of 7.5 m. Data acquisition software was provided by the manufacturer (Licel) in LabVIEW[®] code [National Instruments Corporation]. Custom data analysis routines have been developed in Mathematica[®] [Wolfram Research] in partnership with National Aeronautics and Space Administration (NASA) collaborators. In the discussion that follows, the term “profile” is used to represent cumulative acquisitions over all 16,000 bins of the transient recorder. These data are typically accumulated for one minute per profile, but the time may be as short as 1 s per profile.

HURL diagnostics and correction terms

Mapping: We have developed independent techniques for diagnostics of many aspects of the HURL system. These methods, referred to as the “Mapping Technique”, are described elsewhere (Venable et al., 2011). These techniques involve scanning a constant light source across the aperture of the receiving telescope and analyzing the signals received at the detector for each of the three channels. The techniques are utilized to some degree in many of the diagnostic methods discussed below. Mapping is performed prior to the beginning of a data collection session. The mapping data are analyzed and used as described below.

Spatial Alignment: Prior to beginning a data collection session, the system must be aligned so that the laser beam remains within the field of view of the telescope for all heights in the desired measurement range. We have developed a semi-automated alignment procedure that scans the laser beam across the sky in a step-wise rectangular pattern within the vicinity of the telescope’s optical axis (Walker *et al.*, 2012). This is accomplished by driving the transmit mirror shown in Figure 2 with a Newport PMC 100 Motion Controller and high-resolution electrostrictive actuators. This instrument has micrometer step size resolution which allows the transmit angle of the beam to be controlled to a resolution better than 10 mrad. The system is controlled with a LabVIEW[®] driver that was developed in-house. The return signal is integrated over a selected range (usually 8-10 km) that is near the top of the desired data collection region. Return signals, s , are plotted against the transmit mirror angular positions, (q, f) . When the 3-dimensional pattern (q, f, s) is analyzed a maximum will be observed at the location that coincides with the properly aligned system. The motion controller is then commanded to reset the mirror to this optimum position, thus properly aligning the system. HURL has

been found to be an extremely stable system with respect to alignment. The system will typically operate for several days before the alignment will need adjustment

Response Time: Pulse pile-up may occur if photons arrive at the detector at a rate more rapidly than the detector can respond to them. This situation will result in an undercounting of the number of photons. Response time corrections are calculated assuming a non-paralyzable response (Whiteman, 2003a). For this case the measured count rate can be corrected with the following relationship:

$$\eta_o \approx \frac{\eta}{1 - \eta\tau}, \quad \eta\tau < 1. \quad (12)$$

Here, h is the measured photon count rate, t is the system response time, and h_o is the corrected photon count rate. For our system the response time was found to be 5.0 ns using the zero offset technique. In this technique the analog signals are plotted against the photon count rate in a regime where both detectors would provide accurate results. The photon count rate data are corrected using Eq. 12 for a range of values of the response time, t , and a linear regression (least squares fit) is used to determine the slope and offset (y-intercept) of the best-fit straight line for the data. Values of t that are too big will tend to overestimate large values of h_o resulting in too small an offset. When t is too low, large values of h_o will be underestimated and the offset will be too high. When the correct value of t is used, the offset will be zero. This technique has been compared to the “sigma fit” model (Whiteman *et al.*, 2006), where the root mean square of the residuals of the linear regression is determined and t that minimizes this value is selected as the correct response time.

Results of these analyses are shown in Figure 3. The data presented here have count rates between 1 MHz (lower toggle rate) and 30 MHz (upper toggle rate). Both methods give similar results, however, the shallow minimum that is observed for the sigma fit technique leads to larger errors in the determination of the correct response time. Identifying the location of this minimum becomes increasingly difficult as the upper toggle rate is reduced.

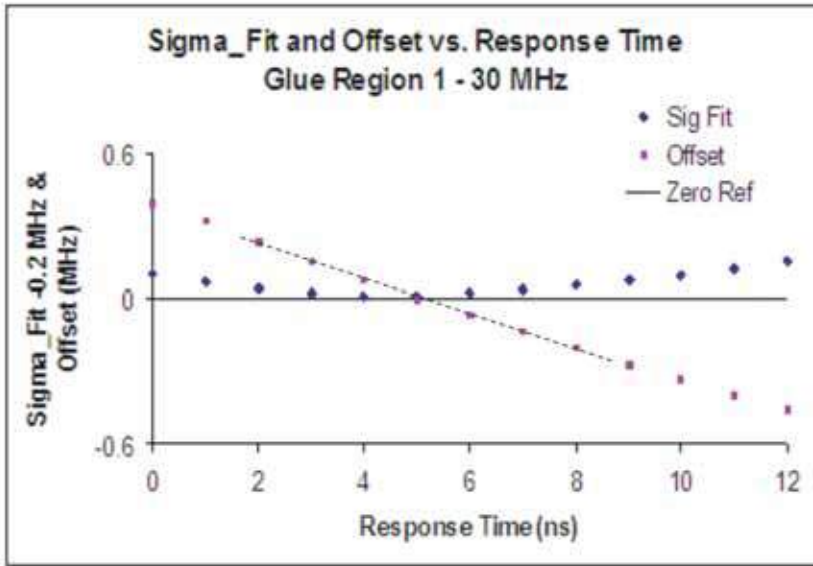


Figure 3. Offset and sigma fit methods for determining the system response time for HURL. A value of 5.0 ns for t was found using both the offset and sigma fit methods.

Gluing: Gluing is the process (Walker et al., 2014; Adam et al., 2010; Whiteman et al., 2006) where analog and photon counting data are combined to increase the dynamic range of the detector system. This makes it practical for us to make both near-field and far-field measurements in both daytime and nighttime environments with the single Lidar system. Gluing coefficients, which map the analog signal to a virtual photon count signal, were obtained in a manner similar to that discussed in the subsection “*Response Time*” above. Initially we utilized a procedure whereby coefficients were obtained from individual profiles for a particular data set and average values of all coefficients were then used in a final analysis of the data. This procedure required processing the data twice. Once to obtain the individual profile glue coefficients and a second time to reprocess the data with the average coefficients. Recently we have developed an alternative method for gluing that uses data from the mapping technique (Walker et al., 2014). This method eliminates the need to perform the double processing of the Lidar data. For HURL, the relative differences in the virtual photon count rates obtained when glued with coefficients determined from the mapping technique and virtual photon count rates for the data glued with coefficients determined from the traditional method for both the water vapor and nitrogen channels are less than 1%. The method of determination of the glue coefficients from the mapping data has been incorporated in the standard procedure for processing HURL data.

Overlap Correction: The overlap correction function (Measures, 1984; Wandinger, 2005) may be determined by ray trace modeling of the Lidar system. Because of the nature of the measurements we take, utilizing the ratio of the signals in two channels as opposed to determining w or A_{SR} from single channel measurements, we only need to be concerned with the ratio of the overlap functions for the two channels of interest, not the individual overlap functions for each channel. For HURL, this overlap ratio is very nearly equal to 1 over the useful measurement range of the instrument. We have confirmed this for water vapor mixing ratio calculations by comparison to radiosonde data. In practice, the small overlap correction function obtained by the radiosonde comparison is applied to the data for water vapor mixing ratio calculations. We are currently investigating methods using the mapping technique to validate our overlap functions for individual channels.

Differential Absorption: Differential absorption (Eq. 5) is approximated using aerosol optical thickness (AOT) values available at NASA Goddard Space Flight Center Aerosol Robotic Network (NASA GSFC Aeronet) and the planetary boundary layer height, h_B , determined from the Lidar data. The aerosol attenuation coefficients obtained from the Aeronet data are scaled to the wavelength of interest using the Angstrom coefficient. Nighttime AOT values are extrapolated from daytime Aeronet measurements. We determine a first order approximation to the differential transmission factor by assuming a constant AOT from the ground level to $0.75 h_B$, then a linear decrease in AOT to zero from $0.75 h_B$ to $1.25 h_B$, and no aerosols above $1.25 h_B$. The molecular component of the extinction coefficient is determined using the standard number density of neutral atmospheric gas particles.

Temperature Dependence – $F(T)$: Determination of temperature dependence of rotational Raman scattering in the Lidar equation is given by Eq. 2. $F(T)$ values for the HURL system were first reported by Adam (2009). Adam gives details of the derivations of the appropriate formulas for determining the scattering cross sections for the Rayleigh-Mie and nitrogen channels based on the works of Herzberg (1950) and of Long (2002). Adam also gives details of the calculation for $F(T)$ for the water vapor channel based on the work of Avila et al. (2004). The most recent values of $F(T)$ for the nitrogen and water vapor channels using current system parameters for HURL are given by Venable et al. (2011). In practice $F(T)$ is calculated and stored in tabular form in a look-up table. These data are interpolated to provide the appropriate correction factor as a function of atmospheric temperature.

Calibration: Typically Lidar data are compared to secondary standard instrumentation for the determination of water vapor mixing ratio calibration constants. Calibration of the water vapor mixing ratio involves the determination of a single constant that will multiply the ratio of the Lidar signals at the water vapor channel to the Lidar signals at the nitrogen channel and convert that ratio to water

vapor mixing ratios. The traditional method has been to compare the Lidar signal ratio to the water vapor mixing ratio obtained from a co-located radio sounding. Radiosondes which are launched at the Beltsville location on a regular basis may provide data for calibration. We have, however, developed an independent method for determination of the water vapor mixing ratio calibration constant using the mapping technique (Venable et al., 2011). For the HURL system, values for the water vapor mixing ratio obtained using the mapping technique agree to within one standard deviation of those obtained from comparison with radiosonde data. For the case of A_{SR} , normalization is performed as stated in the subsection “*Aerosol Scattering Ratio*” above.

HURL data analysis scheme

The data analysis scheme is described in this section. Prior to collection of Lidar data, mapping data and dark current measurements are obtained. A standard start-up procedure that includes system warm-up, laser power optimization, power check, and spatial alignment of the laser beam is followed before data acquisition begins. Immediately before we begin collection of Lidar data, dark current signals are obtained by taking data with the shutters to the photomultiplier tubes closed to prevent light from entering the detectors. These data are used to correct any non-linear biases in the analog signal voltages. Next, data collection begins and individual profiles are accumulated for a specified amount of time, typically one minute. After each profile is accumulated, both analog and photon counting signals are downloaded for all channels and accumulation of a new profile begins.

Preliminary data analysis begins immediately and continues in real-time while Lidar data are being accumulated. The first step in the data analysis is to use the dark current signals to correct the raw data in each bin of the analog signals. Next the photon counting data are corrected for system response time. Ambient background signals are then subtracted from each analog and photon counting data bin. These background signals are obtained from the average signal in the last several thousand bins in each profile. The spatial ranges corresponding to these bins are altitudes beyond the top of the atmosphere (greater than 100 km) and any signals in these bins are thus attributed to background noise. This background is assumed constant over the accumulation time of an individual profile. The analog and photon counting signals are then glued using the gluing coefficients obtained from the mapping experiment. Data are then corrected for incomplete overlap, temperature dependence – $F(T)$, and differential transmission.

Calibration and normalization factors are applied as appropriate. Various data smoothing and averaging routines may be applied to improve signal to noise ratios under some atmospheric conditions. The final products are time-series of profiles for water vapor mixing ratios, aerosols scattering ratios, and their appropriate errors

in both graphical and numerical formats. Typically for graphical representation of the data, the signal intensities in each profile are mapped into a color scale and presented as a color-mapped image that gives the time the profile was obtained on the x axis, height above the ground level on the y axis, and the signal intensity as color variations in the image. See, for example, the color-mapped altitude *vs* time series images of Figures 4 to 6. Numerical data are available in a variety of formats, including ASCII format for the convenience of a broad range of users.

Sample outputs

In this section we present several color-mapped altitude *vs* time series images of HURL data as examples of the final graphical output product. Figure 4 shows data obtained for water vapor mixing ratio measurements when continuously operating the Lidar system for approximately four days. The data collection started at approximately 10:00 UTC on the first day. Local standard time is UTC - 5. The missing data (vertical black lines) correspond to times when the data collection was stopped to clean dew from the Lidar exit window on the roof of the building. At night, the system provides data at much higher altitudes than in the daytime. Low signal to noise ratios in the daytime, primarily due to solar background radiation, reduce the effective range for making measurements.

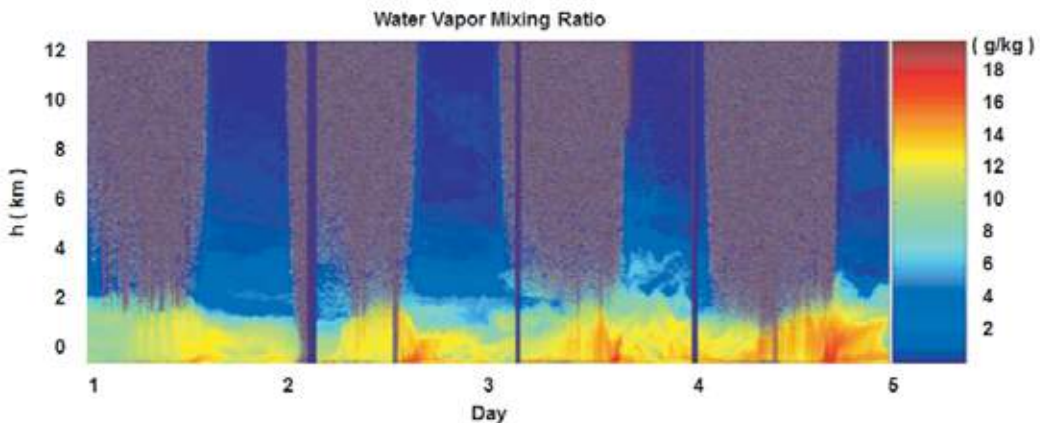


Figure 4. Four days continuous operation of HURL for water vapor mixing ratio.

Figure 5 shows a similar graphical representation for aerosol scattering ratio measurements. Note that A_{SR} data can be obtained at a higher altitude than water vapor mixing ratio data since the Rayleigh-Mie scattering signal is several orders of magnitude larger than the Raman signal. Also note that daytime measurements for A_{SR} can be made at much higher altitudes as compared to the case for w . This is primarily due to the reduced solar background radiation for Rayleigh-Mie scattering near 354.7 nm as compared to the significantly higher solar background radiation

present at the 408.5 Raman scattering wavelength for water vapor molecules. The signal to noise ratio is observed to be reduced above regions with clouds and/or heavy aerosol loading.

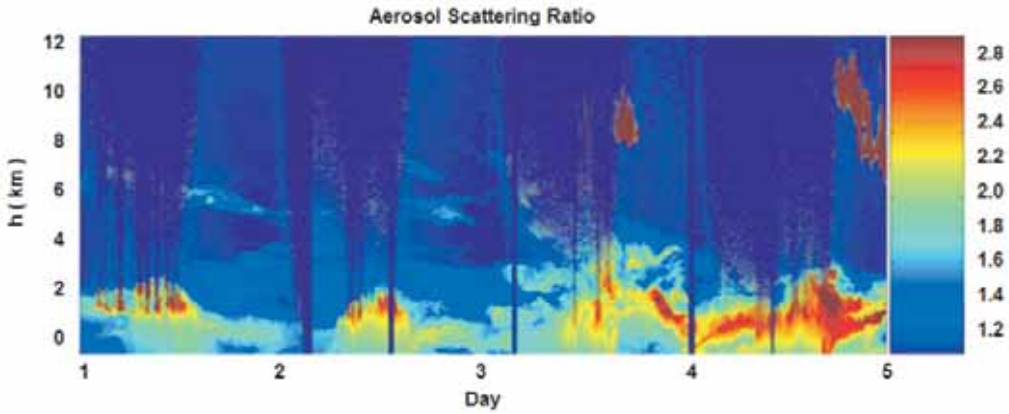


Figure 5. Four days continuous operation of HURL for aerosol scattering ratio. These data were taken at the same time as the data in Figure 4.

As a final example, Figure 6 shows a water vapor mixing ratio color-mapped altitude *vs* time series image for the case where a thin dry layer is observed. The dry layer occurs at an altitude of approximately 0.75 km from 02:40 UTC to 03:50 UTC. The Lidar image captures the development of this layer as well as its dissipation. The abilities of the Lidar to measure the dynamics of features such as these offer significant advantages to modeling efforts. The data in this image are shown at 7.5 m spatial resolution and 1 minute temporal integration. No smoothing has been applied. The ability of the Lidar to measure the dynamics of features such as these is of significant advantage to modeling efforts. Other instruments are not capable of making such measurements at the precision and frequency of the Lidar.

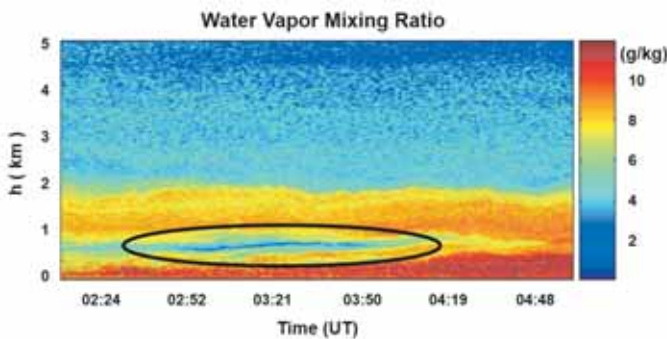


Figure 6. Water vapor mixing ratio showing the development and dissipation of a well-defined dry layer at approximately 0.75 km (black oval). The spatial resolution is 7.5 m.

Summary

Lidar offers many advantages over traditional radiosonde measurements made with weather balloon soundings. The Howard University Raman Lidar has operated episodically for the past 11 years and has made significant contributions to major campaigns carried out at the Beltsville campus. This paper has presented a review of both technical aspects of the Lidar and data analysis techniques for recovery of atmospheric parameters used in meteorological and climate change studies.

We have developed new techniques for Lidar measurements and have led technology transfer efforts to move these to the broader scientific community (Walker, 2013). The HURL system will continue to undergo technological enhancements and upgrades in the future. HURL will continue to play a critical role in the Beltsville campus initiatives for climate system observations and meteorological predictability for the foreseeable future. Finally, much of the technology we have developed will be utilized as atmospheric science researchers at Howard University expand Lidar measurement capabilities to the downtown campus in Washington, DC.

Acknowledgements

The work described in this paper was supported in part by NASA Awards # NNX10AQ11A and # NNX11AJ99G and NOAA Award # NA11SEC4810003. The author would like to acknowledge the numerous contributions of D. N. Whiteman of NASA GSFC to the Beltsville campus Lidar efforts.

Cited literature

- Adam, M., Demoz, B. B., Venable, D. D., Joseph, E., Connell, R., Whiteman, A., . . . Fitzgibbon, J. (2010). Water vapor measurements by Howard University Raman Lidar during the WAVES 2006 campaign. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 27, 42-60. doi:10.1175/2009JTECHA1331.1
- Adam, M. (2009). Notes on temperature-dependent lidar equations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(6), 1021-1039. doi:10.1175/2008JTECHA1206.1.
- Avila, G., Fernández, J. M., Tojeda, G., & Montero, S. (2004). The Raman spectra and cross-sections of H₂O, D₂O, and HDO in the OH/OD stretching regions. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 228(1), 38-65. doi:10.1016/j.jms.2004.06.012.
- Herzberg, G. (1950). *Molecular spectra and molecular structure. I. Spectra of diatomic molecules*. New York: D. van Nostrand Reinhold Inc.
- Long, D. A. (2002). *The Raman Effect: A unified treatment of the theory of Raman scattering by molecules*. New York: John Wiley & Sons. Retrieved from <http://www.kinetics.nsc.ru/chichinin/books/spectroscopy/Derek02.pdf>.

- Measures, R. M. (1984). *Laser Remote Sensing Fundamentals and Applications*. New York: John Wiley & Sons. 510.
- Venable, D. D., Whiteman, D. N., Calhoun, M. N., Dirisu, A. O., Connell, R. M., & Landulfo, E. (2011). A lamp mapping technique for independent determination of the water vapor mixing ratio calibration factor for a Raman Lidar system. *Applied Optics*, 50 (23), 4622-4632. doi:10.1364/AO.50.004622.
- Venable, D. D., Joseph, E., Whiteman, D. N., Demoz, B., Connell, R., & Walford, S. (2005, January). *The development of the Howard University Raman lidar*. 2nd Symposium on Lidar Atmospheric Applications. (Lidar Atmospheric Applications - Poster Session I). 85th Annual Meeting of the American Meteorological Society, San Diego, CA. Retrieved from <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/85650.pdf>.
- Walker, M. C. (2013). *Investigation of lamp mapping technique for calibration and diagnostics of Raman lidar systems* (Doctoral Dissertation). Retrieved from ProQuest Dissertations & Theses Global (Order No. 3593004) (3593004). Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/1437661618?accountid=41558>.
- Walker, M. N., Carter, S. B., & Venable, D. D. (2012, March). *Semi-automated alignment for optimum Lidar performance*. Poster session presented at The Sixth Education Partnership Program, Education and Science Forum. Developing Stem Talent: Increasing Innovation and National Competitiveness. NOAA - EPP Conference. Tallahassee, Florida.
- Walker, M., Venable, D. D., & Whiteman, D. N. (2014). Gluing for Raman Lidar systems using the lamp mapping technique. *Applied Optics*, 53(36), 8535-8543. doi:10.1364/AO.53.008535.
- Wandinger, U. (2005). Raman Lidar. In C. Weitkamp (Ed.), *Lidar range-resolved optical remote sensing of the atmosphere* (pp. 241-267). Singapore: Springer.
- Whiteman, D. N. (2003a). Examination of the traditional Raman Lidar technique. I. Evaluating the temperature-dependent Lidar equations. *Applied Optics*, 42, 2571-2592.
- Whiteman, D. N. (2003b). Examination of the traditional Raman Lidar technique. II. Evaluating the temperature-dependent Lidar equations. *Applied Optics*, 42, 2593-2608.
- Whiteman, D. N., Demoz, B., Girolamo, P. D., Comer, J., Veselovskii, I., Evans, K., . . . Hove, T. V. (2006). Raman water vapor Lidar measurements during the International H2O Project. Part I: Instrumentation and analysis techniques. *Atmospheric and Oceanic Technology*, 23, 157-169.
- Whiteman, D. N., Vermeesch, K. C., Oman, L. D., & Weatherhead, E. (2011). The relative importance of random error and observation frequency in detecting trends in upper tropospheric water vapor. *Journal of Geophysical Research*, 116, 1-7. doi:10.1029/2011JD016610.

Publication Date: Every December

Requirements for submitting manuscripts to JEAP are the following:

- Must be original, scientifically accurate, and related to environmental issues.
- Must not have been published previously.
- May be submitted in either in Spanish or English.
- Should be based on an investigation (or contribution) conducted or carried out during the last five (5) years, at the most.
- Must include information on the affiliations of all authors and the e-mail and phone number(s) of the primary author.
- May be submitted to the School of Environmental Affairs via email (perspectivasaa@suagm.edu), through Dropbox, on a CD sent via regular mail to the School or delivered in person, or on other media delivered directly to the School.

Format

- Length: 15 pages maximum, including tables, figures, equations and references
- Line spacing: Single spaced
- Font: Times New Roman, size 12 points
- Margins: one (1) inch margin on all sides
- Language: Manuscript may be in Spanish or English; Abstract must be in both Spanish and English

Style

- Manuscript should be written avoiding technical jargon and all acronyms and technical terms must be spelled out or briefly defined.
- Manuscript must follow the **American Psychological Association (APA) style**
 - Figures and photos must be originals, black & white or color, with a resolution of 300 dpi in JPG.
 - Figures and tables should be separated from the text, and appropriately referenced in the text.
 - Captions should be placed below each figure and include appropriate and accurate descriptions.
 - Tables should include an explanation above each one, as well as notes and relevant information below each table.
 - Cited literature or References must be according to APA style and references should be limited to the primary 25 sources.

Editorial Committee Process

- Upon receipt of the manuscript, an acknowledgement receipt is sent to primary author identified in submission materials and the Editorial Committee begins the review process.
- Documents that do not meet the requirements of the call are not considered by the Editorial Committee for publication and are returned for proper corrections.
- Manuscripts are edited according to the rules of publication.
- If approved for publication, the Editorial Committee sends the primary author its recommendations and the final edition to obtain his/her approval to formally include the manuscript in the journal.
- The receipt and final approval dates are acknowledged in the published manuscript

Fecha de publicación: Cada diciembre

Requisitos para la presentación de manuscritos a la revista PAA son los siguientes:

- Debe ser original, científicamente exacta, y en relación a las cuestiones ambientales.
- No debe haber sido publicado anteriormente.
- podrán presentarse en cualquiera de los dos en español o inglés.
- Debe basarse en una investigación (o contribución) realizado o llevado a cabo durante los últimos cinco (5) años, a lo sumo.
- Debe incluir información sobre las afiliaciones de los autores y la dirección de correo y número de teléfono (s) del autor principal.
- Puede ser enviado a la Escuela de Asuntos Ambientales a través de correo electrónico (perspectivasaa@suagm.edu), a través de Dropbox, en un CD enviado por correo regular a la escuela o con otros medios de comunicación entregados directamente a la escuela.

Formato

- Longitud: 15 páginas máximo, incluyendo tablas, figuras, ecuaciones y referencias
- Interlineado: espacio sencillo
- Tipo de letra: Times New Roman, tamaño 12 puntos
- Márgenes: Margen de 1 pulgada en todos los lados
- Idioma: Manuscrito puede ser en español o en inglés; Resumen debe estar en español y en inglés

Estilo

- Manuscrito debe escribirse evitando la jerga técnica, y todos los acrónimos y términos técnicos debe ser explicado o brevemente definidos.
- Manuscrito debe seguir las normas de la American Psychological Association (APA)
 - Las figuras y fotografías deben ser originales, blanco y negro o en color, con una resolución de 300 dpi en formato JPG
 - Las figuras y tablas deben ser separadas del texto, y adecuadamente referenciadas en el texto.
 - Los subtítulos deben ser colocados debajo de cada figura y incluyen descripciones adecuadas y precisas.
 - Las tablas deben incluir una explicación sobre cada uno, así como las notas y la información pertinente a continuación cada mesa.
 - Referencias o literatura citada deben ser de acuerdo al estilo de la APA y limitarse a las 25 fuentes primarias.

Proceso del Comité Editorial

- Una vez recibido el manuscrito, un acuse de recibo es enviado al autor principal y el Comité Editorial se inicia el proceso de revisión.
- Los documentos que no cumplan con los requisitos de la convocatoria no son considerados por el Comité Editorial para su publicación y se devuelven para las correcciones adecuadas.
- Los manuscritos son editados de acuerdo a las reglas de publicación.
- Si es aprobado para su publicación, el Comité Editorial envía sus recomendaciones al principal autor y la versión final para obtener su aprobación del manuscrito final a ser incluido en la revista.
- Las fechas de recepción y aprobación definitiva son reconocidos en el manuscrito publicado

Perspectivas

en asuntos ambientales

El clima global está cambiando y con ello vendrán grandes retos en las dimensiones sociales, económicas y ambientales. Ante un evento extremo, el desafío más grande es mantener la infraestructura eléctrica, agua potable, alcantarillado y los sistemas de salud en funcionamiento, especialmente si esta infraestructura está localizada en áreas costeras las cuales son más vulnerables a los efectos del cambio climático. Con ello, la disponibilidad en los abastos de alimentos escasea, tanto los que vienen de afuera como los que se producen en la Isla. Urge que comencemos a planificar escenarios de cómo se van a mitigar los impactos y cómo nos adaptaremos a los cambios que se producirán a raíz de los eventos extremos que experimentemos. Nuestra responsabilidad social como educadores nos exige grandes transformaciones en el currículo y en los procesos operacionales dentro de las instituciones. Requiere que despertemos la creatividad y curiosidad intelectual en nuestros estudiantes para buscar las estrategias para atender los retos de una manera innovadora y sustentable. En esta cuarta edición de la revista Perspectivas en Asuntos Ambientales ofrecemos un puñado de experiencias, acercamientos, programas e investigaciones sobre el tema del cambio climático desde una perspectiva social, ética, educativa, ambiental e investigativa.

Carlos M. Padín Bibiloni, Ph.D.
Rector Universidad Metropolitana



UMET

UNIVERSIDAD
METROPOLITANA
SISTEMA UNIVERSITARIO
ANA G. MÉNDEZ