

Desafíos ambientales en el siglo XXI

Luis Capurro

Investigador Titular del Departamento de Recursos del Mar,
de la Unidad Mérida del Cinvestav.

RESUMEN

Planteamiento del crecimiento poblacional y los problemas que conlleva al medio ambiente tal como agua, alimentación, calentamiento del planeta y otros deterioros ambientales. Para enfrentar estos problemas están el control de calidad de vida, control del sistema climático del planeta desde satélites.

Palabras clave: calentamiento del planeta, control del agua y sobrepoblación.

ABSTRACT

An approach of the population growth and its problems related to the environment, such as water, food supply, global warming, and other environment damages. To face these problems are the quality of life control and the control of the planet's climate system from satellites.

Key words: global warming, water control, over-population.

INTRODUCCIÓN

Muchos expertos están de acuerdo que algunos de los serios problemas ambientales globales de la última década del siglo pasado, tales como la disminución de la provisión de agua dulce, el daño a los sistemas naturales, el calentamiento global de la atmósfera, la reducción de la capa de ozono estratosférico, la disminución de los alimentos provenientes del océano, la reducción a la mitad de la cantidad de espermatozoides humanos desde 1950 continuarán y se agravarán durante el presente siglo. Los prospectos para enfrentar estos desafíos deben preocuparnos, pues a pesar de que los ambientalistas han hecho mucho por llamar la atención del público, no se ha visto gran actividad para enfrentar a estas amenazas ambientales que en último análisis, afectan a cada especie en el planeta.

Mi primera intención fue la de discutir cada uno de los problemas globales arriba mencionados, pero corría el riesgo de extender demasiado este trabajo, y en algunos casos repetir

aspectos comunes a varios de ellos, y por tal razón decidí tratar los que, en mi opinión, son los más graves, más globales y que repercuten en todos los otros; estos desafíos son: a) aumento de la población mundial, b) afectación de los ecosistemas (disfunción) y c) calentamiento global de la atmósfera.

Es una realidad incuestionable que la población mundial se está expandiendo rápidamente, y que sus actividades (antropogénicas) contribuyen a agravar los grandes problemas mencionados arriba. Por ejemplo la competencia para el uso del agua dulce, se hará primeramente evidente en el granero mundial, particularmente en los grandes productores de granos, ya que las naciones que no podrán contar con el agua suficiente para regar sus cosechas, deberán recurrir a otros países para la obtención de granos que alimentarán a sus poblaciones y de ahí que " en vista de que importar una tonelada de granos es igual a importar 1,000 toneladas de agua, la primera opción es la más eficiente para que la obtención de agua por los países que sufren la escasez de la

*Artículo originalmente publicado en: *Avance y perspectiva*, vol. 20, ene-feb. 2001, pp. 3-16. Se reproduce en esta revista con la autorización del autor.

misma Este problema tiene implicaciones más serias en lo que respecta al agua potable, que además de sufrir la reducción arriba mencionada, se agrega la pérdida de su calidad por la contaminación de sus cuencas hidrológicas; son pocos los países donde podamos beber agua directamente del grifo.

Este último aspecto es otro contribuyente al problema más crucial que amenaza al mundo y que se conoce como "disrupción o disfunción del ecosistema", o en palabras más simples, daños a los servicios que prestan los mismos, como son, la purificación del agua y del aire y la regulación del clima, entre otros. La destrucción de los ecosistemas acuáticos someros por la contaminación de los residuos orgánicos humanos tienen una dimensión adicional para algunas de las poblaciones del Tercer Mundo, ya que ellas están relacionadas a apremiantes condiciones socioeconómicas.

El aumento de la concentración de los gases invernadero en la atmósfera, responsable del calentamiento del aire y la transformación de más de la mitad de la superficie terrestre, son ejemplos indiscutibles de cómo se daña a la salud de los ecosistemas; esto sucede en todas las escalas espaciales. La reducción de la superficie y espesor de las capas de hielo polares es otro dramático ejemplo del impacto global del calentamiento atmosférico. Afortunadamente, el aspecto positivo es que se conoce el modo de aliviar este serio problema global, a través de fuentes de energía no contaminantes, como la solar y el viento. Sin embargo, como veremos más adelante, hay otros procesos naturales de emisión del carbono a la atmósfera como los incendios forestales, pero reforzados por el hombre al fraccionar la selva para sus propias actividades.

Estos temas fueron discutidos por un Panel de Expertos Ambientales de primera línea en los EE.UU., que anticipan que el movimiento ambientalista en ese país tendrá un trabajo más pesado que nunca en persuadir a los responsables de la política, de adoptar medidas que solucionen esos desafíos. Si ese país líder en manejo ambiental tiene esa preocupación, me pregunto si nosotros tendremos trabajo más duro para convencer a nuestros políticos al respecto; tal vez nos sea más fácil, por la menor magnitud de los intereses en juego.

Una característica de los ecosistemas en las interacciones que tienen lugar entre sus varios componentes es el "sinergismo" o sea que "la suma de los efectos de cada una de los componentes en forma individual es menor que el efecto integrado de todos ellos". En términos ambientales significa por ejemplo que si se desea evaluar la acción del calentamiento de la atmósfera sobre el derretimiento del hielo polar; ello nos dará el volumen de hielo derretido en función de las calorías absorbidas, que es lo que buscamos. Sin embargo, al mismo tiempo que desaparece la capa de hielo superficial, también desaparece una superficie altamente eficiente en reflejar la radiación solar a la atmósfera y esa fuente de energía que era reflejada es ahora absorbida por el agua y propicia mayor calentamiento. Este fenómeno también ocurre en las políticas y acciones de manejo de los sistemas naturales, cuando una medida adoptada para cierto fin refuerza o alivia el impacto integral en el ecosistema.

Por último deseo destacar que como la gran concentración humana tiene lugar en el ambiente costero, los ejemplos que daré más adelante se refieren a este ambiente, sin descartar que problemas ambientales igualmente graves tienen lugar en otros ecosistemas del planeta.

NATURALEZA DE LOS DESAFÍOS

Aumento de la Población Mundial

Sabemos, por estudios de climas en el pasado (paleoclimatología) de la existencia de cambios ambientales mucho antes de que la acción del hombre pudiera influir de alguna manera en el ambiente (preantropogénica). Sin embargo, quedan muy pocas dudas que las actividades humanas han modificado la composición y contenido de calor de la atmósfera terrestre y que esto irá en aumento durante el presente siglo con la "expansión de la población humana, a un ritmo sin precedentes en la historia del orbe". Este crecimiento demográfico es una realidad incontenible, a pesar de las limitaciones que varios países con alta tasa de natalidad están aplicando a sus poblaciones. El simple hecho de que el aumento exponencial depende de la población actual, muy numerosa por cierto, hace que el número de habitantes que se incorpora cada año (reclutamiento) sea motivo de

preocupación por la inevitable expansión poblacional global. Se estima que para el año 2030 llegará a los 8,000 millones de habitantes, de los cuales el 25% vivirá en extrema pobreza.

La pregunta es: ¿cómo afecta el aumento de la población a la salud de nuestro planeta?

Independientemente de cómo usen los recursos naturales, cuya sostenibilidad no es tema de este trabajo, los efluentes de su propio metabolismo y de otras actividades humanas afectan la calidad de sus ecosistemas. Por ejemplo, existe la tendencia de concentrarse en el ambiente costero, y es así que más del 50% de la población mundial habita dentro de los 60 kilómetros del litoral (hinterland). La simple descarga de sus residuos sólidos y líquidos, y de las propias de la urbanización, afectan la calidad del agua costera, y con ello la de la salud de las especies vivas (biota), incluyendo a la humana. Dos casos ilustran claramente la magnitud de este problema: el primero es un estudio llevado a cabo por la Escuela de Medicina de la Universidad de Harvard, EE.UU. que relaciona la aparición de nuevas enfermedades y la intensificación y expansión de otras con la calidad del agua costera, deteriorada por la concentración humana en ese ambiente. Para probar esta hipótesis, lleva a cabo una investigación en el litoral occidental del Atlántico Norte, desde las costas del Labrador hasta las de Venezuela. El otro ejemplo es el impacto que recibe un arrecife coralino de la Gran Barrera Arrecifal de Australia, ubicado a más de 100 kilómetros de la costa y atribuido a la calidad del agua costera del continente.

Por otro lado, este aumento poblacional contribuirá a aumentar las emisiones del carbono a la atmósfera, a la destrucción de la selva húmeda tropical y por ende al calentamiento global.

En cuanto a su relación con las demandas de agua dulce, su disponibilidad futura es difícil de estimar, debido al rápido y complejo cambio de la geografía de la provisión y uso del agua. Experimentos numéricos que combinan las predicciones de los modelos climáticos, presupuestos o existencias de agua, y la información socioeconómica según redes fluviales digitalizadas, demuestran que: 1) una gran proporción de la población mundial está actualmente experimentando estreses en el agua y 2) que

las crecientes demandas de agua superan fuertemente como calentamiento al efecto invernadero, en la definición del estado de los sistemas globales del agua para 2025. La consideración del impacto humano sobre la provisión global del agua está aún pobremente articulada, pero con una faceta particularmente importante de ser un interrogante dentro del cambio global.

Daños a los Servicios Ecológicos

Los ecosistemas costeros tienen una importancia vital para los países que poseen costas, y mucho más para aquellos marítimos, como lo son México y EE.UU. Ellos proveen la base para la pesca comercial y deportiva, para el comercio, el hábitat para muchas especies de organismos, los sistemas de contaminación-filtración, los mecanismos de control de inundaciones, el turismo recreacional y los amortiguadores de tormentas. Por esas cualidades las crecientes actividades humanas han sometido a estos ecosistemas a grandes estreses. Las islas de barrera, tan comunes en esos ambientes se han convertido en el lugar favorito para desarrollo urbano recreacional, los humedales han sido rellenados para dar espacio a las industrias, los estuarios reciben la carga de la contaminación recogida a lo largo de kilómetros de ríos y la sedimentación y contaminación degradan los arrecifes coralinos cercanos a las ciudades y a las desembocadura de ríos. Este fenómeno está ocurriendo en el mundo entero y la reacción de algunos países, particularmente los desarrollados es de época reciente.

Los servicios de los sistemas ecológicos y del capital natural que los produce son críticos para el funcionamiento del sistema de vida terrestre. Estimaciones conservadoras de su valor económico para toda la biósfera están en el rango de 16 – 54 millones de millones (nuestros billones) de dólares americanos por año.

Debido a que estos servicios no han sido reconocidos o "capturados" en los mercados comerciales, o bien no cuantificados adecuadamente en comparación con los servicios económicos y el capital manufacturero, a menudo se les da muy poco peso en las decisiones políticas. Esta apatía o negligencia puede en último análisis comprometer nuestra sustentabilidad en la biósfera.

La disfunción o daños a los servicios que prestan los ecosistemas es un tópico muy importante y prioritario en las políticas de manejo ambiental actuales. El "servicio" que caracteriza a un sistema natural es, en realidad, una medida de su utilidad ambiental, y su eficiencia depende exclusivamente de su funcionamiento; de allí el término de "disfunción" cuando dicho aspecto es disminuido y; el llevarlo a su condición inicial, de funcionamiento no perturbado, se conoce como recuperación o restauración del sistema. El mantener los servicios de estos sistemas en buenas condiciones es un requerimiento básico de la política de sustentabilidad, tan en boga en la actualidad.

Uno de los daños más preocupantes por su impacto socioeconómico, incluyendo a la salud humana, en la vida silvestre, en el paisaje y en el turismo costero es la ya mencionada calidad del agua costera, que es la que primero recibe el impacto de los residuos humanos que genera la urbanización del ambiente costero. El exceso de estos residuos provoca lo que se conoce en la jerga científica como "eutrofización". La naturaleza de este proceso es la siguiente: las sales nutritivas o nutrientes, particularmente el nitrógeno y el fósforo en su versión de sales, son el alimento básico para el crecimiento vegetal, incluyendo al plancton vegetal (fitoplancton) en el ambiente acuático. El exceso de esas sales contenidas en los residuos humanos y conocidas como residuos orgánicos, puede producir un crecimiento exagerado del fitoplancton, lo que conlleva una disfunción del ecosistema por la disminución de la transparencia del agua, y por lo tanto la reducción de la luz necesaria para el desarrollo de los otros componentes vitales del ecosistema.

Este aumento exagerado del fitoplancton propicia el crecimiento de otros organismos, tales como esponjas, pastos y de otros oportunistas que compiten por el espacio con los componentes normales del ecosistema, y que pueden llevar a su desaparición, alterando de esta forma su funcionamiento. En los sistemas coralinos el exceso de fósforo debilita la estructura del coral y lo hace susceptible a mayor daño. Esta disfunción de los sistemas naturales es uno de los problemas de más actualidad en la ecología costera.

La mejor forma de ilustrar el impacto que se ha producido a los ecosistemas costeros, donde se concentra gran parte de la población humana, es mostrando algunos ejemplos de costosos procesos de su restauración o recuperación. Uno de ellos es el caso del Parque Nacional de Everglades en el sur de la Península de Florida, EE.UU. conocido antiguamente como el "Río de Pastos" que constituía un enorme ecosistema con pastizales, árboles cipreses, flamings y otros pájaros, peces y pequeños animales acuáticos, cocodrilos y panteras. La agricultura y los centros urbanos han devorado la mitad de la extensión original del Everglades. Para mayor de males, después de una devastadora inundación en 1948, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU., construyó un sistema de vallas y canales para controlar esas inundaciones y crear fuentes de agua disponibles para futuros desarrollos humanos. Como resultado, el Everglades se ha hecho más árido, muchos de sus componentes están sufriendo las consecuencias, y por si eso fuera poco, las productivas aguas costeras de Florida han sido dañadas por el exceso de agua dulce hacia esos sistemas salados, debido a los muchos cambios al régimen hidrológico del Parque. A través de este proceso, el agua dulce se convirtió en un "contaminante".

En la actualidad el Cuerpo de Ingenieros espera restaurar al ecosistema a un costo estimado de 11 mil millones de dólares, y veremos que resultados se logran.

Otro caso bien dramático es la provisión del agua potable a la ciudad de Nueva York proveniente de la cuenca de Catskill en el sistema montañoso del Appalachian y cuya calidad se ha resentido notablemente como resultado de las actividades humanas en esta cuenca acuifera. Las opciones para recuperar la calidad de dicha agua eran: a) construir una planta purificadora a un costo estimado de 3 mil millones de dólares y costo anual de operación de 300 millones o bien, b) restaurar la cuenca acuifera a sus condiciones iniciales. Se ha decidido por esta última opción que costará alrededor de 3 mil millones de dólares y cuyos resultados también veremos.

Las aguas costeras de Maryland (EE.UU.), contaminadas desde hace mucho tiempo, serán sometidas a una intensa limpieza durante los

próximos 15 años. Este programa se basa en la realidad de que la prosperidad económica y calidad de vida de los residentes y visitantes están directamente relacionadas con una juiciosa protección de este frágil ecosistema costero,

Últimamente la Fundación Mundial de la Vida Silvestre (WWF) ha declarado perdidas las playas mediterráneas españolas desde Barcelona hasta Valencia; esto pasa en un país muy consciente del valor de esos ecosistemas y donde el turismo costero es el mayor en el mundo entero.

Podríamos extendernos mucho más y citar ejemplos en otras partes del mundo y en nuestra propia casa, pero quiero invitar a la reflexión, razonando que si este tipo de daño ecológico tiene lugar en países desarrollados, ¿qué nos puede esperar a nosotros, a no ser que aprovechemos de esas dolorosas experiencias y afrontemos como corresponde estos desafíos ambientales.

Calentamiento Global de la Atmósfera

La otra gran amenaza global es el calentamiento de la atmósfera y el relacionado aumento acelerado del nivel del mar. La mayoría de los expertos acepta que la tasa de calentamiento se está acelerando y que las consecuencias de este aumento de la temperatura de la atmósfera pueda transformarse en consecuencias ambientales muy disruptivas. Aún los estudiantes de secundaria lo asocian a que los océanos se calentarán, que los glaciares se derretirán causando una elevación del nivel del mar, que el agua salada inundará las poblaciones ubicadas en lugares costeros bajos, que las regiones aptas para las actividades agrícolas y de ganadería se modificarán, que el patrón climático será más errático y las tormentas más severas.

El proceso del calentamiento atmosférico es el siguiente: el espectro de ondas electromagnéticas que emite el Sol, como consecuencia de sus procesos termonucleares, atraviesa la atmósfera terrestre sin ser casi molestado con excepción de alguna de ellas que son absorbidas por el anhídrido carbónico, el vapor de agua y compuestos fluorados (gases invernaderos) presentes en el aire; esta absorción se traduce en calor.

El aumento de la concentración natural de estos gases por las actividades humanas, genera más absorción y más calor del aire, el que a su vez aumenta la evaporación, es decir la cantidad de vapor de agua en la atmósfera y por lo tanto mayor absorción de energía solar y mayor calentamiento (sinérgico).

El impacto más evidente es que habrá más energía térmica en el aire y por lo tanto los procesos atmosféricos actuales, tales como las tormentas, serán más intensas y de mayor duración, en particular los huracanes y los fenómenos como ENSO y la Oscilación del Atlántico Norte, los desiertos tenderán a expandirse, las arenas del norte de África podrán invadir el Mediterráneo, así como las tormentas de polvo en el Medio Oeste norteamericano (Dust Bowl) ampliar su radio de acción. La cantidad del anhídrido carbónico se duplicará en 100 años y su efecto amplificador en la temperatura será de 2,5 °C.

Una de las mayores preocupaciones del calentamiento es el derretimiento del hielo en las regiones polares. Ello traerá como resultado casi inmediato un aumento acelerado del nivel medio del mar, y como consecuencia la inundación de grandes áreas bajas de la Tierra y la disminución de la salinidad del agua, lo que alterará la circulación oceánica y modificará la estructura y funcionamiento de los ecosistemas marinos. Estas modificaciones al régimen oceánico alterarán los procesos de intercambio de energía con la atmósfera y por ende el régimen climático.

Los niveles del mar y la temperatura de la atmósfera han fluctuado dramáticamente durante la historia geológica del planeta. Por ejemplo, alrededor de 120,000 años atrás, la temperatura global era 1° a 2° C superior a la actual y el nivel del mar estaba como 6 metros más alto; en la última glaciación (15,000 años) la tierra era 5° C más fría y el mar estaba 100 metros más abajo. En los últimos 3200 años, las mediciones en el Caribe indican que la tasa de ascenso es en promedio de 0.4 milímetros por año, y en el último centenio de alrededor de 1.0 a 2.0 milímetros por año. El Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC) predice que para 2030 el nivel global del mar estará entre 8 a 29 centímetros arriba del nivel actual, es decir con una tasa de ascenso de tres a seis veces mayor

que las del último siglo; muchos expertos la consideran conservadora.

Un fenómeno muy frágil ante este derretimiento, y de gran significancia social, es el que tiene lugar en el Atlántico Norte, donde se inicia lo que conocemos como "la cinta transportadora" (conveyor belt). Es un hecho ya conocido hasta por los estudiantes de secundaria, que el clima templado que goza el norte de Europa se debe a que una corriente cálida conocida como la Corriente del Golfo (Gulf Stream) baña sus costas y lleva consigo esa fuente de calor que suaviza el clima en esos países de tan alta latitud geográfica. En realidad el proceso es algo más complejo y constituye un hermoso ejemplo de cómo actúa la naturaleza y como interactúan los grandes fluidos geofísicos.

La cinta transportadora funciona así: el agua que integra la Corriente del Golfo es de origen ecuatorial que se mueve a lo largo del Caribe, del Golfo de México, de la costa oriental de los EE.UU., para finalmente entrar a pleno Atlántico Norte y seguir moviéndose hacia el este, hasta las cercanías del continente Europeo. Debido a su larga travesía por la región tropical de muy alta evaporación, adquiere muy alta temperatura y alto contenido en sales (salinidad). Cuando llega a las proximidades de Groenlandia se encuentra con la masa de aire polar del norte y, en esa oportunidad, entrega considerable calor de sus aguas al aire que condiciona al clima del norte de Europa. Al entregar ese calor el agua se enfría y esto, conjuntamente con la alta salinidad le otorga una densidad mayor que el agua subyacente, lo que provoca su hundimiento hasta encontrar un nivel de profundidad donde su densidad sea igual a la del agua a esa profundidad. Este proceso está operando continuamente y se ha convertido en una característica climática permanente, donde el agua superficial que se hundió llega hasta el fondo (más de 3000 metros y se desplaza hacia el sur a esas profundidades hasta surgir a la superficie en el Atlántico Sur, próximo al Antártico, y volver a fluir hacia el norte (de allí el nombre de cinta transportadora). Los volúmenes de agua involucradas en este proceso son: la Corriente del Golfo transporta en esa región, alrededor de 85 millones de metros cúbicos por segundo; de ese volumen alrededor de 20 millones por segundo se hunden en la región y se incorporan a la cinta transportadora. La gran preocupación con el

calentamiento es que el agua dulce proveniente del derretimiento de los glaciares próximos de Groenlandia puedan diluir el agua de la Corriente del Golfo (reducir la salinidad) a un grado tal que el enfriamiento no sea suficiente para aumentar la densidad del agua superficial al grado de provocar su hundimiento, y por lo tanto suprimir la acción de la cinta transportadora. Si esto sucede la temperatura media del aire en el norte de Europa disminuiría entre 5 a 8°C, además de otras implicaciones climáticas.

Otro ejemplo dramático de la magnitud de los problemas que puede generar el calentamiento lo tenemos en el caso de El Niño (1996-1998) tal vez el más violento y largo del siglo. La sequía que se produjo en el este de Asia por el desplazamiento del área convectiva de lluvia prevalente en esa región, provocó desastrosos incendios en Indonesia, particularmente en Borneo. Esta región conjuntamente con la del Amazonas, constituyen las dos selvas húmedas más grandes del planeta. En los últimos 20 años los incendios en Indonesia han aportado a la atmósfera una cantidad de anhídrido carbónico mayor que el antropogénico de los EE.UU., alrededor de un 30% del total. Aquí se ha comprobado otro típico ejemplo de sinergismo entre el fraccionamiento de la selva y los incendios.

Se ha comprobado, por fechado del carbón y evidencia arqueológica, que incendios tan grandes han sucedido cuando se producen grandes Niños, alrededor de 400 a 700 años de intervalo. Es posible que el calentamiento acorte este lapso de tiempo y ocurra más frecuentemente.

Otro campo con efectos no tan familiares pero igualmente perjudiciales es el de la salud humana. Notablemente, los modelos matemáticos pronostican que el calentamiento y otras alteraciones del clima relacionadas pueden expandir la incidencia y distribución de muchos serios desórdenes médicos.

Como se ha dicho anteriormente, la Escuela de Medicina de la Universidad de Harvard está muy activa en esta área de la ecología humana y anticipa serias consecuencias del calentamiento; algunas de éstas son:

- 1.- Las olas de calor y la falta de enfriamiento nocturno duplicarán en algunos lugares el

número de muertos para el año 2020. Además favorecerán la formación del smog y de la dispersión de alergias.

- 2.- Mayor frecuencia de sequías y de inundaciones, que además de causar más ahogados o hambre, pueden promover la emergencia, resurgimiento y dispersión de enfermedades infecciosas. Esto es preocupante pues las enfermedades infecciosas son difíciles de combatir.
- 3.- Enfermedades relacionadas con los mosquitos, tales como malaria, dengue fiebre amarilla y varias clases de encefalitis, deben ser motivo de mucha atención. La malaria y el dengue son los más probables de expandirse dramáticamente.
- 4.- Una seria perturbación en el sistema es una de las vías más profundas por la cual un cambio de clima puede afectar la salud humana. El control de pestes es uno de los servicios más eficientes que puede prestar un ecosistema y de los menos apreciados por el hombre. Los ecosistemas en buen estado de funcionamiento mantienen controladas a diversas especies. Si el clima perturba al sistema, ello puede dar oportunidad al crecimiento de poblaciones oportunistas que refuerzan la dispersión de la enfermedad. Un ejemplo cercano de este problema fue el impacto del huracán Mitch sobre América Central, el cual aparte de producir la muerte de 11,000 personas por la acción directa del huracán, generó miles de casos de cólera, malaria y dengue.
- 5.- Como se ha dicho al principio de este trabajo, la calidad del agua costera debe ser motivo de especial preocupación.

¿Qué puede hacer la ciencia para afrontar estos desafíos?

La calidad de vida en el siglo XXI dependerá en gran medida de la generación de nuevas fuentes de riqueza, de asegurar la salud de nuestro planeta, en las oportunidades para la iluminación y desarrollo individual y en la integración de nuestros intereses. En este contexto, el medio ambiente es un tema central, vigoroso y esencial en los asuntos domésticos e internacionales. Este concepto o idea directriz debe ser divulgado y reconocido por todos los niveles de la sociedad.

Si aceptamos la alta prioridad que debemos asumir ante las amenazas para nuestra subsistencia y permanencia en el planeta, entonces se debe aclarar el rol que la ciencia puede jugar ante esas amenazas a la salud de nuestro hábitat. El estado actual del conocimiento tanto en ciencia como en tecnología permite afrontar los desafíos que se plantearon más arriba.

El siglo XX ha producido notables avances en comprender a los componentes de los sistemas naturales en escalas que van desde lo microscópico a lo macroscópico. En la frontera de la investigación se halla la necesidad de encontrar maneras de integrar esta información e incorporarla en modelos que describen mejor el comportamiento y dinámica de los sistemas naturales. En vista de la complejidad de los ecosistemas y a fin de asegurar el beneficio global a la sociedad, los progresos deben acoplarse a métodos más efectivos para comunicar la información integrada al público en general y a los políticos.

El sistema climático de la Tierra está siendo monitoreado como nunca anteriormente. Los datos desde satélites, sistemas terrestres, buques, boyas mareógrafos y otro instrumental están siendo compilados, intercambiados, incorporados a centros de datos, catalogados, clasificados e interpretados. Sin embargo el estado del tiempo diario crea mucho ruido en el sistema climático y la recurrencia de eventos de corta vida como el Niño complican tanto a los modelos, que hacen difícil llegar a firmes conclusiones sobre la presente naturaleza del clima y de la tasa de su variación.

Los EE.UU. concluyeron una investigación de 3 años tratando de conocer el efecto del sistema físico del clima en los sistemas naturales y en los socioeconómicos. Los resultados no han sido muy estimulantes, a pesar de que se usaron una variedad de modelos y las conclusiones fueron que debido a las limitaciones de la ciencia, la evaluación no podría haber obtenido grandes logros. En su mayoría, estos modelos dan una alerta, pero tienden a dar diferentes predicciones a nivel regional, y no hay forma de saber cuál de ellos es el mejor. La escala de predicción se reduce y la credibilidad disminuye hasta que cuando se llega a pequeñas regiones, los "datos del modelo no son aceptables". Si bien esta evaluación

nacional no ofrece una lista del impacto, región por región, puede mostrar dónde es adaptable y dónde se es vulnerable.

Nuestra problemática ambiental incorpora todos estos desafíos y debemos afrontarlos sin demora y capitalizar de las experiencias de otros países. Debemos aceptar que la ciencia y la tecnología juegan un papel preponderante en este enfrentamiento con las amenazas ambientales. Los problemas emergentes son de tal complejidad que no se prestan a soluciones intuitivas; la academia cuenta con los talentos y las herramientas para aceptar esos desafíos; lo que se requiere es el apoyo para ejercitar esa ciencia y tecnología.

El CONACyT es la fuente principal de apoyo a la investigación científica ambiental en la Federación, que es llevada a cabo por la comunidad académica. Por lo tanto, consistente con su misión primaria, los fondos disponibles deben prioritariamente asignarse a proyectos basados en los méritos de las evaluaciones por expertos externos nacionales; estas inversiones deben proveer un mayor vigor intelectual y liderazgo en el avance de nuevos enfoques y liderazgo en el conocimiento fundamental, que es básico para atacar la gama de problemas ambientales emergentes.

La investigación básica ha elucidado las interacciones físicas, biológicas, químicas, geológicas y sociales, la dinámica y funciones de tales problemas ambientales en la salud y vitalidad de los ecosistemas, de la predicción del tiempo atmosférico, del rol de las corrientes oceánicas en el clima, de las proyecciones en el cambio del nivel del mar y la evolución de las especies de plantas y animales en los ecosistemas terrestres y marinos.

La naturaleza y alcance de los problemas ambientales emergentes en escala nacional y global, mencionados ligeramente en este trabajo, sugieren la necesidad de evaluar los desafíos y oportunidades que estos asuntos críticos presentan al CONACyT.

Se deben aumentar los recursos en las escalas espaciales y temporales de carácter inter y multidisciplinario para la investigación y el monitoreo, y apoyos más significativos en

investigaciones críticas para comprender la bio-complejidad, incluyendo las ciencias naturales y sociales. Así como la tecnología ambiental CONACyT ha comenzado a aplicar este racional con los "proyectos nuevos, emergentes y rezagados" y con los proyectos de "Grupo", pero desgraciadamente con poco reconocimiento de la importancia del medio ambiente.

La comprensión y predicción científica del comportamiento del medio ambiente, conjuntamente con una ciudadanía científicamente informada, es un requisito para la calidad de vida de las futuras generaciones. Los servicios ecológicos son esenciales para la humanidad; sin embargo, sus dimensiones y valores no son bien comprendidos.

Durante la confección de este trabajo, y con la idea de ilustrar conceptos básicos con ejemplos típicos, se ha podido identificar y confirmar la relación estrecha entre la naturaleza y el funcionamiento de los tres grandes desafíos mencionados arriba, y otra característica que se presenta en las investigaciones ambientales que evidentemente incorpora más complejidad a los problemas ambientales: el sinergismo. Los efectos buenos o malos de estos desafíos no se pueden evaluar en términos lineales, es decir sumando sus efectos individuales, sino considerando las interacciones entre los distintos componentes.

Incluso los países avanzados admiten la dificultad que tienen para que la seriedad de los desafíos ambientales sea reconocida, situación que nosotros compartimos; sin embargo, deseo destacar algunas acciones emprendidas por nuestro vecino del norte, que tienen aplicación en nuestro país y que sugeriría cierto apoyo a la investigación ambiental. Estas acciones se concretaron en el reconocimiento de la seriedad del problema para lo cual recurrieron a su máximo organismo científico: la Academia Nacional de Ciencias, para que identificara los Indicadores Ecológicos de la Nación, tarea que fue llevada por su National Research Council y publicada en un libro reciente. Este es un gran paso, pues indica una preocupación de las más altas autoridades de ese país de disponer de información inmediata del estado de salud y problemas de sus valiosos ecosistemas, que finalmente constituyen nuestro hábitat.

Otro estudio importante esá relacionado con el mar y en el que se admite que los EE.UU. es un país eminentemente marítimo y procede a una evaluación del estado de salud de sus mares. Nuestra problemática a largo plazo y con el ritmo de desarrollo que llevamos, me ha convencido de que México es también un país marítimo; sus intereses en el mar no deben ser subestimados.

Desde sus comienzos a principios de 1980, la Unidad Mérida del CINVESTAV ha reconocido el papel importante que el mar juega en la problemática nacional y en particular en la Península de Yucatán. Desde entonces estamos realizando estudios de toda índole, incluyendo los aspectos biológicos, físicos y socioeconómicos del ambiente costero, que consideramos el recurso natural más valioso, y objetivo a largo plazo, de la Península. Estamos tratando de imponer este racional a todos los niveles de la sociedad peninsular y, en lo posible, a lo nacional. La tarea no es fácil pero existe la voluntad.

Con respecto al abuso que el hombre a hecho del medio ambiente y destacar los serios problemas ambientales que ha generado me gustaría citar a un colega que ha tocado el aspecto ético de este tema: sus palabras han sido "EN ESTE SIGLO XX HEMOS CRUZADO EL UMBRAL MORAL LA HISTORIA DE ESTE SIGLO, SERÁN LOS EFECTOS DE HABER CRUZADO ESTE UMBRAL".

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Canadian Environmental Agency, <<http://www.ccc.org/>>, 1997.
- (2) Houghton, J.T., B.A. Callander & S.K. Varney, *Climate Change: The IPCC Scientific Assesment*, Cambridge University Press, 1990.
- (3) Houghton, J.T., B.A. Callander & S.K. Varney, *The Supplement Report of the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, 1992.
- (4) *Climate Change and Human Health*- Edited by Anthony J. Mc Michael, Andrew Haines, Rudolf Sloof & Sari Kovats- *World Health Organization, United Nations Environmental Program*, 1996.