nacional en desastres, el profesor Hill McGuire, director del Benfield Grieg Hazard Research Centre, del Departamento de Ciencias Geológicas del University College de Londres: "El debate central no radica en la evaluación de los operativos de rescate del gobierno en el momento mismo de una catástrofe, o en el maquillaje que den a los datos para evitar acusaciones que tengan un costo político. El argumento medular es lograr crear una conciencia general de que éstas no fueron las últimas, sino las primeras de una serie de lluvias torrenciales que se presentarán cada vez con mayor frecuencia en México".

El artículo continúa haciendo un recuento de numerosas entrevistas previas donde, desde México y el extranjero se vaticinaban no sólo más lluvias torrenciales, sino más problemas de corrupción y negligencia política y ciudadana de no tomarse medidas inmediatas para prevenir los problemas evidentes.

Lo que nos plantea éste y otros muchos artículos en periódicos y otros medios es la falta de prevención en la que vivimos inmersos a pesar de numerosas evidencias de que el clima ha cambiado. Revertir este fenómeno global no será fácil y los fenómenos climáticos y sociales que se derivarán del calentamiento del planeta ya no deben mantenernos inactivos y paralizados. En este sentido la sensibilización temprana de los futuros ciudadanos, estudiantes hoy, es imperativa e impostergable, de manera que lo que se logre en los salones de clase en estos términos es una tarea relevante del quehacer docente, desde cualquiera de los ámbitos y disciplinas con que se aborde el cambio climático a nivel local, regional y global.

VI. Actividades

1. ¿Qué otros gases, aparte del dióxido de carbono, pueden absorber radiación infarrroja en los enlaces de sus moléculas y actuar como "gases de invernadero"? Justifica tu respuesta dibujando la estructura molecular de los gases y analizando el momento bipolar de cada uno.
2. ¿Qué compromisos adquirió la comunidad internacional en la cumbre ambiental de Río de Janeiro, celebrada en 1992? ¿Cómo se relacionan esos compromisos con lo tratado en esta actividad? ¿Firmó México ese tratado? ¿Qué otras acciones se han realizado desde entonces, en México y el mundo, para reducir la emisión de gases provenientes de las combustiones? ¿Cuándo se redactó y en qué consistió el Protocolo de Kyoto?
3. En una ciudad como la de México y su área conurbada, o en Monterrey y Guadalajara, donde los automóviles recorren en conjunto millones de kilómetros al día, se requieren nuevas medidas para disminuir la contaminación atmosférica. Investiga al menos tres propuestas diferentes. A continuación te damos algunas ideas que puedes explorar:
   a) Recubrimientos catalíticos de platino en radiadores y compresores de aire acondicionado de automóviles.
   b) Optimizar sistemas de calefacción e iluminación domésticos.
   c) Usar celdas fotovoltaicas para reemplazar los combustibles fósiles.
   d) Disminuir fugas de gas natural y recuperar el gas metano liberado de los depósitos de basura.
   e) Reforestar de forma sustentable y reducir las prácticas de quema de campos de cultivo.
   f) Elaborar inyectores de CO_2 hacia depósitos subterráneos (directamente de las fuentes emisoras), donde se convierta en sales de carbonato.

VII. Bibliografía

Magaña, Víctor, "La mano del hombre en el calentamiento global", *Ciencia y desarrollo*, volumen 33, número 210, agosto de 2007.

Collins, W., *et. al*, "El fundamento físico del cambio climático", *Investigación y ciencia* (edición española de *Scientific American*), número 373, octubre de 2007.

Catalá, Rosa María, *Química II*, Editorial Esfinge, México 2007.

Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista.

¿cómoves? guíadelmaestro

Por Rosa María Catalá

Diciembre 2007

Cambio climático ¿qué sigue?

De: Jorge Zavala Hidalgo y Rosario Romero Centeno

(No. 109, p. 10)

I. Relación con los temarios del bachillerato UNAM

Esta guía y el artículo de referencia pueden utilizarla de manera integrada maestros de geografía, química, física, ciencias políticas, sociología y ética, ya que implica conocimientos y destrezas propios de todas estas disciplinas. El estudio del clima, tanto desde el punto de vista científico como del social, permite elaborar proyectos de investigación interdisciplinarios muy interesantes.

II. Un proyecto interdisciplinario

Un proyecto de investigación sobre el cambio climático en México o el mundo debería partir de preguntas generadoras realizadas por los alumnos de acuerdo con sus propios intereses y expectativas. Por ser un tema de actualidad que se discute continuamente en los medios, maestros y alumnos contamos con mucha información. Ésta, lamentablemente, no siempre es exacta. El tema se presta a visiones catastrofistas y fatalistas. Pareciera que lo que nos resta es no hacer nada, que de todas maneras los países ricos son los que más contaminan y son los únicos que tienen las tecnologías y medios para revertir el daño ambiental en el planeta.

¿Cómo cambiar esta visión en nuestras clases? ¿Cómo mostrar a los alumnos que una persona con convicciones puede lograr cambios en su familia y su comunidad? Lo primero es estar bien informados de la ciencia del cambio climático y de las consecuencias que éste puede tener sobre distintas regiones del planeta y en nuestro propio país. El artículo de referencia nos ayuda en gran medida a resolver la primera parte, y sirve como punto de partida para ahondar en la investigación, dependiendo del área de estudio desde la que se plantee el proyecto. A continuación se amplía esta información y se incluyen algunos de los problemas político-sociales derivados de las inundaciones en Tabasco y Chiapas, como un ejemplo de lo que puede suceder cada vez con mayor frecuencia si no tomamos las medidas adecuadas como gobierno y como sociedad.

III. Desde el ámbito científico

El fundamento físico del cambio climático

En el último número de la revista *Investigación y ciencia*, correspondiente al mes de octubre de 2007, un artículo de William Collins y Robert Colman da respuesta cabal a la pregunta de porqué los climatólogos están tan seguros de que la actividad humana es la que provoca el calen-

tamiento de la Tierra. Los autores fundamentan su exposición en los factores físicos y químicos que impulsan el cambio climático debido a la acción humana, partiendo del aumento de las concentraciones atmosféricas de muchos gases, en particular el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los halocarburos o clorofluorocarbonos, como también se les conoce en la jerga de los químicos. Estos últimos se usan en los sistemas de refrigeración y como presurizadores de productos en aerosol, aunque en los países industrializados se emplean cada vez menos gracias a algunos acuerdos internacionales. Todas estas sustancias atrapan el calor dentro de la atmósfera, lo cual lleva al efecto invernadero, proceso que trae como consecuencia el calentamiento global.

Las concentraciones actuales de los gases de invernadero son 35% superiores a las de la época previa a la revolución industrial (lo cual puede determinarse por medio de la medición de dióxido de carbono presente en las burbujas de aire atrapadas en las muestras de hielo de los glaciares). Los niveles de metano actuales son dos veces y media más altos que los de los tiempos preindustriales, y los de óxido nitroso han aumentado en un 20%, aproximadamente.

Podemos asegurar que el impacto de la actividad humana ha acelerado el proceso de calentamiento global debido a que algunos gases de invernadero (como los halocarburos) no existen en la atmósfera de manera natural. En el caso de otros gases, hay dos datos importantes que demuestran la influencia humana: en primer lugar las variaciones geográficas de la concentración revelan que las fuentes se encuentran principalmente en tierra y en el Hemisferio Norte, más densamente poblado. En segundo lugar, el análisis de isótopos, que puede distinguir las diferentes fuentes de emisiones, demuestra que el aumento del dióxido de carbono proviene, en su mayor parte, de la utilización de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). Los aumentos del metano y del óxido nitroso se derivan de las prácticas agrícolas y de los combustibles fósiles.

Los climatólogos recurren a la noción de *forzamiento radiante o radiativo* para cuantificar los efectos de esas concentraciones excesivas en el clima. El forzamiento radiativo es el cambio causado en el equilibrio global de energía de la Tierra con respecto a la época preindustrial (se suele expresar en watts por metro cuadrado). Un forzamiento positivo induce calentamiento; uno negativo, enfriamiento. Podemos determinar de forma bastante exacta este factor asociado a los gases de efecto invernadero de larga duración, pues conocemos las concentraciones atmosféricas de éstos, así como su distribución espacial y los principios físicos que regulan su interacción con la radiación.

El cambio climático no se debe sólo al aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero. Intervienen también otros mecanismos, tanto naturales como antropogénicos. Entre las causas naturales se encuentran los cambios de la actividad solar y las grandes erupciones volcánicas. El informe del IPCC expone otras influencias adicionales y significativas que hay que atribuir, igual que las emisiones de gases, a la actividad humana: los aerosoles, el ozono estratosférico y troposférico, y las estelas de los aviones, que aumentan la cantidad de energía que la atmósfera devuelve al espacio por reflexión, lo que propiciaría un enfriamiento. La incertidumbre en la magnitud de estos efectos es mucho mayor que la de los gases de invernadero.

Existen todavía dudas en torno a las consecuencias climáticas de la modificación del albedo de las nubes por los aerosoles generados en actividades humanas: sus complejas interacciones con las nubes aumentan el brillo de éstas, que reflejan entonces más luz solar hacia el espacio. Otra fuente de incertidumbre proviene del efecto directo de los aerosoles antropogénicos: ¿cuánta luz solar reflejan y absorben? En general, estos efectos de los aerosoles tienden a producir un enfriamiento que compensaría en parte el calentamiento debido a los gases de efecto invernadero de larga duración. Pero, ¿en qué medida podrían llegar a reducir el calentamiento?

Uno de los avances desde el informe del IPCC de 2001 es la cuantificación, mediante la combinación de multitud de modelos y observaciones, de la incertidumbre asociada a cada tipo de forzamiento. En consecuencia, ahora podemos evaluar el efecto humano total. Por otro lado, los resultados duplican la estimación más probable del forzamiento debido exclusivamente a los cambios en la actividad solar. Este resultado, vaticinado ya desde hace más de 40 años, ofrece la certeza de que la Tierra se está viendo arrastrada hacia un clima más cálido, proceso que cobrará mayor intensidad a medida que vaya aumentando el calentamiento por efecto invernadero.

IV. El clima como amenaza

En otro trabajo muy interesante de Víctor Magaña, publicado en la revista mexicana *Ciencia y desarrollo* del mes de agosto de 2007, el autor nos marca una realidad que venimos observando en los últimos años con un dramatismo creciente: "el clima es uno de los factores a los cuales sólo prestamos atención cuando nos es adverso. Sequías, inundaciones, heladas, ondas de calor u otro tipo de condiciones extremas, frecuentemente terminan afectando la vida diaria, al cambiar la disponibilidad de agua o energía, al afectar la salud o los sistemas de comunicaciones". Los extremos climáticos ocurren en todas partes, pero en algunos países, las sociedades y sus sectores socioeconómicos son más vulnerables y por ello parece que justo en esos sitios el clima sea particularmente adverso. En realidad, cuando se habla acerca de los desastres ocasionados por el clima se alude a una expresión de los niveles de riesgo. De forma breve, se puede decir que el riesgo se compone de dos partes: una es la amenaza y la otra, la vulnerabilidad de un sector, región o grupo social a esa amenaza. Por ejemplo, en la agricultura el riesgo climático está constituido por una combinación formada por a) la amenaza relacionada con las condiciones extremas del clima (sequías o inundaciones) y b) la vulnerabilidad que, entre muchos otros factores, se debe a la debilidad de la infraestructura y al desinterés de las autoridades en el sector. Así, la falta de sistemas de riego y de tecnologías modernas en gran parte del país hacen más vulnerable la agricultura mexicana —ya sea por déficit o por exceso de lluvia—, y por ello los desastres en el sector son frecuentes.

El clima como amenaza ha comenzado a analizarse más detalladamente desde que se comprobó que, en efecto, está cambiando y aquí su relación con el artículo de referencia. El proceso de mostrar que sus cambios son responsabilidad de las sociedades modernas, en el último siglo y medio, ha sido largo y problemático por los intereses económicos y políticos existentes.

A continuación presentamos el documento periodístico de una tragedia climática reciente: las inundaciones en Tabasco y Chiapas.

V. Crónica de una tragedia anunciada

En el "Reporte especial" de la revista *Proceso*, No. 1618, del 4 de noviembre de 2007, Armando Guzmán hace una reflexión inicial: "Las advertencias se habían sucedido una, dos, muchas veces… pese a ellas, los gobiernos de Tabasco sólo exhibieron una negligencia crónica para prevenir inundaciones como las que asolaron la entidad. Peor aún, en Villahermosa han permitido megaconstrucciones que agravan los anegamientos, y no se sabe qué destino ha tenido buena parte de las aportaciones federales y donativos dirigidos a obras de infraestructura, así como a la construcción de viviendas para la población situadas en zonas de alto riesgo".

A lo largo del artículo se hace referencia a que en las últimas décadas los recursos ciudadanos a través de los impuestos federales se enfocaron (o al menos así se decía) en prevenir o evitar tragedias como la que actualmente vive esta región del país. Así ocurrió con los cientos de millones de pesos que PEMEX entregó a los gobiernos recientes para construir obras de infraestructura y viviendas con el fin de reubicar a la gente que se hallaba en zonas de riesgo, repetidamente golpeadas por huracanes y tormentas como *Chantal* (2001), *Larry* (2003) y *Stan* (2005).

Lo que hoy ocurre había sido advertido a la misma revista desde 1999 por el experto inter-