

CAMBIO CLIMÁTICO

DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED



ESCRITURA EN CIENCIAS

DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED



Instituto Nacional
de Formación Docente
Ministerio de Educación
Presidencia de la Nación

Presidenta de la Nación
Cristina Fernández De Kirchner

Ministro de Educación
Alberto Sileoni

Secretaria de Educación
Jaime Perczyk

Secretario del Consejo Federal de Educación
Daniel Belinche

Secretario de Políticas Universitarias
Martín Gil

Subsecretario de Planeamiento Educativo
Marisa del Carmen Díaz

Subsecretaria de Equidad y Calidad
Gabriel Brener

Instituto Nacional de Formación docente
Verónica Piovani

Dirección Nacional de Formación Docente e Investigación
Andrea Molinari

Coordinadora de Investigación Educativa del INFD
Inés Cappellacci

PRESENTACIÓN

Los libros que se presentan en esta edición son el resultado de la segunda etapa del dispositivo Escritura en Ciencias, desarrollado durante los años 2011-2012 en el Instituto Nacional de Formación Docente y cuyos principales protagonistas fueron profesores de institutos de formación docente de las provincias de Buenos Aires, Catamarca, Chaco, Chubut, Córdoba, Entre Ríos, Formosa, Neuquén, San Luis, Santa Cruz, Santa Fe, Santiago del Estero y Tucumán.

Los libros que se produjeron en esta ocasión, corresponden a los siguientes títulos:

7. Ecosistemas terrestres
8. Ecosistemas acuáticos
9. El big bang y la física del cosmos
10. Cambio Climático
11. Energía: características y contexto
12. Epidemias y Salud Pública

La génesis de este proyecto se inspiró en el programa Docentes Aprendiendo en Red del Sector Educación de la Oficina de UNESCO, Montevideo. Esta experiencia innovadora en nuestro país, reunió a 30 profesores de diferentes provincias que, a través de un trabajo colaborativo, escribieron seis libros sobre contenidos de problemáticas actuales de las ciencias naturales.

Haber escrito los seis primeros libros de la colección¹ durante 2010-2011 supuso para la continuidad algún camino allanado. Este segundo ciclo estuvo marcado por una inusitada resonancia de la edición anterior del proyecto, verificada en encuentros con profesores de diferentes provincias, interesados en conocer los materiales y saber más sobre la propuesta. Por esta razón deseamos compartir algunas reflexiones sobre el desarrollo del proceso.

Un eje central del proyecto se asienta en la escritura y su potencial, no sólo como posibilidad de difusión del saber de los profesores, sino como un medio para hacer de lo vivido en el propio trabajo, un objeto de experiencia. Es decir, una oportunidad de generar cierta ruptura de lo sabido y conocido respecto a lo

1 1. Los plaguicidas, aquí y ahora; 2.H2O en estado vulnerable; 3. Del Gen a la Proteína; 4.La multiplicidad de la vida; 5. Cerebro y Memoria; 6. La evolución biológica, actualidad y debates.

que suscitan temas actuales de la agenda de las ciencias naturales y codificarlo en el lenguaje docente. Por eso, los textos comunican el resultado de un ejercicio reflexivo en el que la escritura actúa como un importante mediador.

Los docentes han pasado durante un año con escrituras sometidas a ciertas condiciones para poder funcionar: cumplir plazos, compartir con los pares, discutir los temas, los avances, realizar y recibir devoluciones que impliquen lecturas atentas y cuidadosas de otras producciones y a la vez, ofrecer las propias al juicio de los colegas. Todas estas actividades se inscriben en un dispositivo capaz de darles cabida y que invita a los profesores a constituirse en autores de textos de temáticas muy específicas de las ciencias naturales.

Si bien la invitación se cursa a los profesores, no se trata de una invitación al trabajo individual, sino que se convoca a un trabajo colectivo, con alto grado de colaboración. Este es un aspecto muy difícil de construir y donde creemos que radica buena parte de la adhesión con la que cuenta este proyecto. Dos aspectos se conjugan, a nuestro juicio, en esta dificultad, uno asociado a la misma matriz de la docencia que sugiere un trabajo solitario y alejado de las visiones de los pares. El otro, ligado a reorganizar la representación de que la escritura no es una práctica que pueda resolverse con la sola intención y voluntad de escribir: requiere otras condiciones.

Los textos de Escritura en Ciencias tienen un tiempo de gestación y retrabajo, surgidos de un boceto inicial provisorio, sobre la temática sugerida y donde comienza la transformación de las ideas preliminares que, a medida que transcurre el proceso, ponen más de una vez en el centro la dificultad de hallar el recurso a emplear para expresar y expresarse de la manera más clara y más efectiva sobre temas de actualidad científica, difíciles y complejos de sobrellevar. La tarea se apoya con una plataforma virtual que colabora para que los profesores puedan sortear la distancia y sostener la tarea grupal de escribir.

El avance del boceto, al tiempo que se estudia y se profundiza un tema se convierte en la tarea cotidiana que no es una tarea libre y excesivamente centrada en la subjetividad de cada autor, sino que se somete a la previsión acordada con el grupo y a los tiempos que el coordinador va marcando, a fin de que la tarea pueda concretarse en los tiempos estipulados para el proyecto.

A esta exigencia se suma la actitud con la que se solicita leer los borradores. Para ser consecuentes con el proceso de avance de un texto, la lectura primera que abre el juego a las devoluciones entre pares requiere estar enfocada más que en la forma "correcta" de cómo lo dice, hacia lo que su autor intenta decir. Lo que interesa es que el pensamiento comience a manifestarse a través de la palabra

escrita. Seguramente al inicio las producciones tienen un limitado alcance, pero el ejercicio resulta muy fecundo en cuanto primera oportunidad para darse a leer y poner oídos a las devoluciones que recibirá. Este primer disparador abre un campo de expectativas de inusitado valor como motor de todo el proceso siguiente.

Los momentos de zozobra, de exposición necesaria, implícitos en el darse a leer, tienen la función de colaborar para que se produzca el desapego hacia el resultado inmediato y exitoso de la empresa de escribir. Quizá es una de las rupturas más importantes a los modos habituales que tenemos de posicionarnos frente a la propia palabra. Ingresar las incertidumbres y angustias propias en la propia escritura, reconocerse como parte de una obra que empieza a tomar forma y que poco a poco, comienza a ser reconocida como común entre los grupos, representa aquello que sostiene frente a la tendencia a huir ante la primera gran dificultad.

La experiencia que transitamos durante este tiempo demuestra que los profesores tienen interés por escribir y mejorar sus escrituras. Y concluyen con la idea de que sus producciones han devenido en textos que otros educadores pueden conocer, estudiar y abonar con ellas su propio trabajo.

Una primera cuestión para destacar, la disposición y el entusiasmo que despierta en cada edición "Escritura en ciencias" se debe quizá al hecho de que los autores de los textos son los mismos profesores: Docentes de los institutos que escriben para sus colegas. Lo inusual de esta iniciativa es ligar la autoría a la docencia, previniendo con esta atribución que este discurso no es una palabra cotidiana, indiferente y que puede consumirse inmediatamente, sino que se trata de una palabra que debe recibirse de cierto modo y recibir, en una cultura dada, un cierto estatuto, como sostiene Foucault.

La segunda cuestión relevante refiere al compromiso de estudiar, profundizar sobre el tema elegido, hacer de ello un objeto de estudio y de problematización. La búsqueda de material bibliográfico, las discusiones e intercambios con los colegas y con investigadores de referencia, el trabajo en talleres presenciales, entre otras, son acciones que imprimen una lógica diferente al trabajo y sirven de indicador de la buena disposición que tienen los docentes para vincularse con el conocimiento.

Recuperar los saberes de los profesores, ponerlos en valor en una publicación significa una buena parte de la atracción que ejerce el proyecto sobre cada uno de los participantes. Quizá porque asumir la posición de autores les asigna una doble responsabilidad, para sí mismo y para los demás, que hay que tramitar durante el proceso. Dar cuenta de lo que escribe, de cada argumentación que se sostiene, hacer de esta práctica una tarea habitual que se juega en cada encuentro, frente a

coordinadores, a otros colegas, sirve de foro de discusión colectiva para mostrar y mostrarse en la vulnerabilidad que todo acto de escribir para otros coloca.

Los seis libros que sumamos a esta colección tienen una estructura experimentada en la edición anterior, cada capítulo de autoría individual, a la que quisimos sumar otra apuesta proponiendo a los profesores un ejercicio ligado a su oficio en clave de propuestas enseñanza de las ciencias. El capítulo de cierre de cada uno de los libros de esta edición tiene autoría compartida, contiene propuestas, reflexiones, ideas para pensar la enseñanza de cada uno de los temas.

Esta nueva presentación abona otra vez el deseo de que la autoría de los docentes se convierta en un componente relevante de la propuesta formativa, y sea bienvenida en este conjunto de producciones que codifican y comunican temas de la actualidad científica en el lenguaje de la docencia. Y en el encuentro que toda escritura persigue con las lecturas de otros (docentes, alumnos) den lugar a otros textos que reorganicen la experiencia de la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia.

Liliana Calderón
Coordinación Escritura en Ciencias

ESCRITURA EN CIENCIAS

CAMBIO CLIMÁTICO

Autores:

Santa Recalde

María Josefa Mandón

Pablo Torres

Marcelo Alejandro Diez

Orientación y asesoramiento científico: Marcela Hebe González

Coordinación de Escritura: Marcelo Alejandro Diez

Autores

Santa Recalde
María Josefa Mandón
Pablo Torres
Marcelo Alejandro Diez

Equipo Escritura en Ciencias del Instituto Nacional de Formación Docente

Liliana Calderón, Carmen E. Gómez y Antonio Gutiérrez

Orientación y asesoramiento científico

Marcela Hebe González

Coordinación de escritura

Marcelo Alejandro Diez

Diseño editorial

Renata Kándico, Gastón Genovese www.estudiolate.org

Hecho el depósito que establece la ley 11.723

“Los textos de este libro son copyleft. El autor y el editor autorizan la copia, distribución y citado de los mismos en cualquier medio y formato, siempre y cuando sea sin fines de lucro, el autor sea reconocido como tal, se cite la presente edición como fuente original, y se informe al autor. La reproducción de los textos con fines comerciales queda expresamente prohibida sin el permiso expreso del editor. Toda obra o edición que utilice estos textos, con o sin fines de lucro, deberá conceder es-tos derechos expresamente mediante la inclusión de la presente cláusula copyleft.”

Cambio climático / Santa Recalde ... [et.al.]. - 1a ed. - Buenos Aires :
Ministerio de Educación
de la Nación, 2013.

152 p. ; 21x15 cm. - (Escritura en ciencias; 10)

ISBN 978-950-00-0989-8

1. Formación Docente. 2. Enseñanza de las Ciencias. I. Recalde,
Santa
CDD 371.1

Fecha de catalogación: 25/02/2013

ÍNDICE

Presentación	5
Introducción	15
Capítulo I: Las evidencias del Cambio Climático y la hipótesis antropogénica	17
Santa Recalde	
Introducción	17
Calentamiento global versus GEI	19
Si hace calor...Que no se note	22
Derretimiento de los glaciares:	
¿Consecuencia del aumento de la temperatura media global	23
La invasión de las aguas	26
Las catástrofes naturales al orden del día: huracanes, sequías, inundaciones	27
Al mal tiempo... buena cara	29
Enfermedades y algo más	31
La biodiversidad y el Cambio Climático: especies en peligro de extinción	33
Las plantas como sumidero de CO ₂ y la deforestación	34
El petróleo uno de los protagonistas del calentamiento global	36
Capítulo II: Dinámica del Sistema Climático	39
María Josefa Mandón	
Introducción	39
Primera Parte: Los sistemas complejos	40
El paradigma de la complejidad: el enfoque sistémico	40
Modelos	42
Los límites de la modelización	42
Los modelos climáticos	43
Proyección y Predicción	44
Segunda Parte: el sistema climático y sus subsistemas	47
La energía. El Sol	49
Un mar de radiaciones	52
El efecto invernadero	54
Fundamentación del efecto invernadero: claves químicas	54

Claves físicas: La radiación terrestre saliente y la ventana de radiación	56
Tiempo de residencia de los GEI	59
Tercera Parte: Estudio de las variaciones del Sistema Climático	61
La base: Balance energético	62
Variaciones del balance radiativo	62
Forzantes climáticos externos	63
Mecanismos de retroalimentación	64
Qué es el forzamiento radiativo. Los aerosoles y el vulcanismo	65
El albedo y la radiación	67
Tipos de albedo	68
El vapor de agua	70
Retroalimentación de las nubes	70
Retroalimentación de la vegetación en función de la precipitación	71
Influencia de la vegetación	71
Retroalimentación de la vegetación en función del albedo. Caso de la tundra y el bosque	72
Otro factor y un acoplamiento casi perfecto: la correa oceánica	73
Reflexión final	73
Capítulo III: La Historia Cambiante de Nuestro Clima	75
Pablo Torres	
En busca de la magnitud del tiempo geológico	76
En los albores de nuestro Planeta	77
Un viaje en el tiempo	77
La débil atmósfera primitiva	78
Un golpe de suerte	79
La historia de los “viejos” tiempos, la Tierra caliente	80
El desbalance del ciclo del carbono	81
El planeta “bola de nieve”	82
La vida, aliada inseparable del clima	84
El mar de la muerte	85
La muerte llega del cielo. La extinción K/T	86
La era de hielo	88
El cuaternario	89
Un breve paréntesis en el “invierno glacial”	91
El por qué de las cosas	92

Causas de la variabilidad climática natural	92
Cuando los continentes se mueven	93
El fin de la 2° guerra mundial rescata el nombre de A. Wegener	94
Tectónica de placas, una teoría revolucionaria	95
Cuándo los volcanes cambian el clima	96
Los “ríos” del mar y los cambios climáticos	99
Causas astronómicas de la variabilidad climática	100
El ciclo de Milankovitch	100
Variaciones en la emisión solar	103
¿Cómo sabemos lo que sabemos?	104
El cálculo del tiempo	106

Capítulo IV: La responsabilidad política y social en la preservación del Medio Ambiente

Marcelo Alejandro Diez	111
¿Somos responsables del calentamiento global?	111
¿Crónica de un gran fraude?	112
¿Cuándo comienza la preocupación por el cuidado del Medio Ambiente?	113
Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano	114
¿Qué es el desarrollo sostenible?	115
El Ambiente como sujeto de derecho	118
La preocupación política y social por el cuidado del Medio Ambiente en Argentina	119
Argentina, Buenos Aires y un fallo histórico	120
El caso de la cuenca Matanza-Riachuelo	121
Tapados por la basura	122
Las acciones interinstitucionales como alternativa	123
Mangas de contención	124
¿A qué llamamos Impacto Ambiental?	125
Ley de basura cero	126
Perspectivas a futuro sobre la preservación del ambiente	127
¿Cómo sigue esta historia?	129

Capítulo V: Aportes para una didáctica del Cambio Climático

María Josefa Mandón- Santa Recalde	123
Educar para la ciudadanía	123

El marco de la Educación Ambiental	133
Las complejidades del tratamiento del Cambio Climático	133
Sobre el qué enseñar	134
Propósitos de la Enseñanza	135
¿Qué obstáculos presenta la enseñanza del Cambio Climático en el aula?	136
La cascada de información	136
Percepción y Comprensión sobre el tiempo y el clima	137
Organizando el panorama	137
Organización Didáctica	138
Algunas estrategias de aprendizaje	139
Actividades de Investigación e Intercambio	139
Las experiencias de Laboratorio	141
Otras Estrategias de aprendizaje	143
Cómo trabajar en línea	144
Reflexiones finales	145
Bibliografía	146

INTRODUCCIÓN

Este libro es fruto del trabajo de un grupo de docentes, que impulsados por la necesidad de aprender sobre un tema tan controvertido como es el “Cambio Climático”, hemos investigado diversas fuentes, consultado a Investigadores y plasmado nuestras conclusiones en él. Demás está decir que en todo momento y a lo largo de la obra, hemos intentado dejar “entreabierta” la puerta que fomente el debate y presente diferentes posturas.

Aunque sería sumamente pretencioso considerar que nuestra creación va a lograr dilucidar todos los factores relacionados a la dinámica climática, esperamos que al menos, contribuya a una comprensión general del tema que nos convoca.

Organizar nuestras ideas fue muy difícil, y trasladarlas al texto, mucho más. Y no por desconocimiento, ni falta de información (contamos con el apoyo permanente de una especialista), sino porque el tema es tan amplio y multidisciplinar, que por momentos semejante diversidad nos sumía en un desconcierto tal, que nos parecía irrespetuoso para el potencial lector establecer un recorte arbitrario. Hemos tratado, ante todo, de considerar a los tres lectores imaginarios que se posaron sobre nuestros hombros (según la idea de Richard Dawkins). Al lector general, que nos indujo a utilizar un vocabulario exento de tecnicismos. Al especialista, que ante su crítica mirada hemos escrito y reformulado cientos de veces. Pero principalmente a nuestros alumnos, que en definitiva, son los principales destinatarios de este libro y para quienes hemos intentado hacerlo práctico, ágil y didáctico.

El desafío está planteado, esperamos cubrir las expectativas.



CAPITULO I

Las Evidencias del Cambio Climático y la Hipótesis Antropogénica

Santa Recalde

Introducción

¿Te diste cuenta que en los últimos años asistimos a una mayor cantidad y frecuencia de huracanes en el planeta? ¿Te imaginaste alguna vez que el glaciar Upsala sufriría un brusco retroceso en tan solo 20 años? ¿Sabías que la rana "tractor" (*Aregenteohyla siemersi pedersenii*) endémica de Corrientes Provincia de la República Argentina se encuentra en peligro de extinción?

Estas podrían ser algunas de las evidencias, de lo que se ha denominado en el ámbito de las ciencias ambientales, como "Cambio Climático".

Pero ¿qué es el **Cambio Climático**? Veamos algunas definiciones:

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, éste es un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante periodos de tiempo comparables.

Los investigadores por su parte, también lo caracterizan. Duarte (2011) lo define como el efecto de la actividad humana sobre el sistema climático global, que siendo consecuencia del cambio global afecta, a su vez, a otros procesos fundamentales del funcionamiento del sistema Tierra.

Camilloni (2008) comenta que la expresión cambio climático en el uso del Grupo Intergubernamental de expertos en el Cambio Climático, se refiere a la alteración del clima producida por modificaciones de la composición de la atmósfera mundial atribuidas de manera directa o indirecta a la actividad humana.

Este capítulo pretende introducir de manera proyectiva a las evidencias de la variación del clima en los últimos 150 años. ¿Qué incidencia ha tenido la mano del hombre en la aparición de estos fenómenos? ¿Qué debemos esperar con el transcurrir de los años? ¿Cuáles son algunos de los indicios que nos da la naturaleza como alerta en su dinámica cambiante?

A lo largo de la historia del Planeta, el clima ha sufrido cambios continuos, debido a diversos factores que no implican, exclusivamente, la concentración elevada de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Ha atravesado diversos períodos de glaciaciones donde la Tierra se vio envuelta en extensos mantos de hielo, o bien desprovista de éste, lo que produjo alteraciones cíclicas en los ecosistemas. Al decir de Barros (2006)

El clima no glacial prevaleció entre 100 y 50 millones de años atrás, y desde entonces hasta hace alrededor de 3 millones de años, se sucedieron varios periodos de calentamiento y enfriamiento. Estos cambios parecen haber sido determinados por la deriva de los continentes, que modificó la distribución de tierra y agua, los ascensos de cordilleras y macizos montañosos, los cambios en la concentración de dióxido de carbono y el transporte de calor por el océano. (p.68)

Por otra parte, en estos últimos ciento cincuenta años, el planeta ha experimentado cambios que provocaron profundas transformaciones en los ciclos biogeoquímicos, en los ecosistemas y en la atmósfera. Estos, probablemente, son directa o indirectamente causados por la utilización indiscriminada de los recursos naturales por parte del hombre y de algunos factores naturales. Más adelante, se mencionan algunos de los acontecimientos más relevantes asociados al cambio climático.

Este trabajo es el resultado de una búsqueda de información de diferentes fuentes científicas, que pretende mostrar las posibles pruebas o hechos que se fueron evidenciando en el transcurso de este último siglo, según la visión de destacados especialistas. Toda acción humana tiene consecuencias positivas o negativas, manifestándose en el entorno.

En las primeras páginas de este capítulo repasaremos los principales hechos o cambios significativos observados en el clima a nivel mundial. A continuación realizaremos un análisis a nivel regional y por último, los cambios que se presume, podrían producir en la biodiversidad.

Calentamiento global versus GEI

En la actualidad, es frecuente encontrar notas, entrevistas e informes acerca de esta problemática. Incluso en la Provincia de Formosa se vuelve un tema de conversación común del que no se conoce mucho pero, en general, se coincide y acepta que hace más calor en los últimos veranos, que en otros veranos recientes, y se le atribuyen estos cambios al calentamiento global. Se define al calentamiento global como un fenómeno que se observa en las mediciones de la temperatura media global del planeta, mediciones que muestran en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera y el océano.

El análisis de diversas fuentes de investigación, indican un aumento en la concentración de algunos gases presentes en la atmósfera, a pesar de haber permanecido relativamente estables por varios milenios, (vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso). Ésta es una realidad que no podemos obviar ¿Por qué? Porque esos gases a los que hacemos referencia, son los responsables del efecto invernadero de nuestro planeta y debido a ello, la Tierra posee una temperatura media global alrededor de 15°C. Pero el aumento en las concentraciones de algunos de estos **gases de efecto invernadero** durante los últimos 150 años está perturbando el equilibrio del clima en el planeta, produciendo el efecto conocido como **calentamiento global**.

Aunque, también existen otros determinantes naturales que inciden en las variaciones del clima (la actividad del Sol, de los volcanes y las variaciones en la excentricidad de la órbita terrestre), es sumamente llamativo que la temperatura de la Tierra haya aumentado entre 0,4 y 0,8° C durante el último siglo.

En los informes del IPCC (2007)¹ se detalla el resultado de estudios e investigaciones sobre los aumentos anteriormente mencionados *“la concentración de CO₂ atmosférico aumentó, de un valor preindustrial de aproximadamente 280 ppm a 379 ppm en el 2005”*. Comparado con el aumento de la época preindustrial en un periodo de 8000 años, éste sufrió un incremento de 20 ppm, mientras que las mediciones desde el inicio de la era industrial demuestran un aumento de 100 ppm en su concentración, atribuyendo la responsabilidad a la actividad humana. Las estadísticas demuestran que la concentración de CO₂ es directamente proporcional al incremento de la temperatura. Por otra parte, en la medida en que se eleva la temperatura, también aumenta la capacidad del CO₂ de disolverse en

1 Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2007). Cambio Climático 2007 Informe de Síntesis. [En líneas www.ipcc.ch] Fecha de consulta 29 de Abril de 2012

el agua, ya que allí se transforma en carbonato, y acaba por hundirse en los fondos marinos, disminuyendo así su concentración en la atmósfera. ¿Puede ocurrir esto? Sí, aunque el problema es que el aumento de las temperaturas superficiales del océano disminuyen su capacidad de incorporar el CO_2 . Es indiscutible que este gas, por su efecto invernadero, afecta de manera directa a la temperatura. De todos modos, existen otras teorías que responsabilizan del calentamiento global a la actividad del Sol, y más precisamente a las manchas y ciclos solares, los que coinciden con las épocas de más cálidas de la Tierra, de esta manera, éste determinante natural también puede ser el responsable de los cambios climáticos de los últimos 150 años. Es por ello que consideramos que la actividad antropogénica no es la única causa del calentamiento global. Sin embargo, somos nosotros quienes debemos comenzar a prestar atención a este fenómeno, ya que si seguimos emitiendo gases en forma continua, contribuimos a generar el **incremento** de lo que llamamos **“Efecto invernadero”**.

Otro gas que interviene en el **efecto invernadero** es el metano, como lo afirma el informe del IPCC (2007)² *“El aumento de aproximadamente 1774 ppm de CH_4 en 2005 representa más del doble de su valor preindustrial...los niveles actuales de CH_4 atmosférico se deben a las emisiones antropogénicas continuadas de CH_4 que superan las emisiones naturales”* ¡Y aquí vamos de nuevo!, algunos autores consideran que ya existía emisión de metano antes de la industrialización. Ejemplo de ello son las plantaciones de arroz y la producción ganadera, que son actividades anteriores a este proceso. Por lo que las *“nuevas”* fuentes derivan de la explotación petrolera y de la basura enterrada en rellenos sanitarios. No obstante, el metano posee un potencial de calentamiento mayor que el dióxido de carbono, aunque su tiempo de vida sea más corto (aproximadamente 15 años), contribuye efectivamente al incremento de la temperatura. Otros autores delegan toda la responsabilidad a la producción agropecuaria y energética. En tercera instancia tenemos al óxido nitroso. Según la fuente mencionada anteriormente, *“las concentraciones de N_2O en el 2005 fueron de 319 ppb., aproximadamente en un 18% más alto que su valor preindustrial”*. En este punto debemos tener en cuenta que las emanaciones naturales provienen del intercambio de la atmósfera con el suelo, y las emanaciones antropogénicas por el uso de plaguicidas, fungicidas, fertilizantes y la quema de combustibles fósiles.

2 Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2007). (op. Cit)

Por último debemos mencionar al vapor de agua ya que es uno de los más importantes gases de efecto invernadero. Pero si es tan importante ¿por qué lo hemos dejado para lo último?, porque aunque las actividades humanas no contribuyen directamente en su producción, si lo hacen en forma indirecta, ya que ésta depende de los valores de la temperatura global.

Ahora viene lo más interesante ¿qué implicancia tiene el incremento de estos gases en la atmósfera sobre el clima? Determinante, ya que la temperatura media global es el resultado del balance de energía en el sistema. Los gases de invernadero tienen la función de absorber la radiación infrarroja proveniente del suelo y de la propia atmósfera. Al aumentar la cantidad de GEI este efecto se refuerza y como consecuencia, aumenta la temperatura del planeta. Según el IPCC (2007)

Los cambios en la abundancia de los gases de efecto invernadero y de los aerosoles atmosféricos así como en la radiación solar y en las propiedades de la superficie de la tierra alteran el balance de energía del sistema climático. Estos cambios se expresan en función del forzamiento radiactivo, que se emplea para comparar como una variedad de factores humanos y naturales influyen en el calentamiento o enfriamiento del clima global.

El clima cambia y ha evolucionado desde el inicio de la Tierra con variaciones de temperatura en los océanos, en las masas de hielos, en los ecosistemas y en la atmósfera, ¿está bien entonces llamar a este fenómeno “cambio climático” o podría llamarse de otra manera? Por ejemplo: “evolución climática”. ¿Es lo mismo? Definitivamente no. Cambiar es permutar una cosa por otra, sin embargo “evolucionar” hace referencia a un desarrollo gradual. Pero volviendo a nuestro tema, existe un calentamiento global, es decir, un aumento en la temperatura media global. Así lo demuestran estos acontecimientos observados por el IPCC informe (2007)

El calentamiento del sistema climático es inequívoco...a escala continental, regional y de la cuenca oceánica se han observado numerosos cambios climáticos a largo plazo. Estos incluyen cambios en la temperatura y el hielo ártico, cambios generalizados en la cantidad de precipitación, la salinidad de los océanos, las pautas de los vientos y las condiciones climáticas extremas como sequías, fuertes lluvias, olas de calor y en la intensidad de los ciclones tropicales.

Si hace calor.... Que no se note

Seguramente recordarás algún detalle interesante sobre estos años 1998, 2002, 2003, 2005, ¿Calor? ¡Claro! ¡Mucho calor! Estos años fueron registrados como los más calurosos del último siglo.

Año	Diferencia con la media 1961-90 (°C)
1998	+0.52
2005	+0.48
2003	+0.46
2002	+0.46
2004	+0.43
2006	+0.42
2007 (Enr-Nov)	+0.41
2001	+0.40
1997	+0.36
1995	+0.28

Tabla 1. Los 10 años más calurosos a nivel global Fuente Martón (2008)

Como puede observarse en la tabla, los años más calurosos a nivel global, corresponden a 1998 y 2005. Una característica interesante de este calentamiento gradual y progresivo es que se han observado reducciones en los días de invierno. No solo de día hace calor sino también de noche, y un ejemplo concreto es el intenso calor que sufrió Europa en el año 2003, incrementado por la extrema sequedad del suelo, que dejó un saldo de 40.000 muertos. El calor aumenta con el aumento de los gases de efecto invernadero y se intensifican en duración y frecuencia. Durante estos últimos años también se han registrado crudos días de invierno. Sin embargo, no podemos afirmar que estos hechos sean resultado del calentamiento global. De hecho, otras personas ya lo han experimentado y no precisamente a causa del efecto invernadero intensificado, si tenemos en cuenta que en los años comprendidos entre el 901 y el 1400 en la zona del Atlántico Norte se desarrolló una etapa muy calurosa denominada Optimo Climático Me-

dieval y desde mediados del siglo XIV a la mitad del siglo XIX se generó una mini glaciación, un periodo muy frío llamado la Pequeña Edad de Hielo.

Derretimiento de los Glaciares: ¿Consecuencia del Aumento de la Temperatura Media Global?

Muchas personas asisten atónitas (a través de la televisión o Internet), al desprendimiento de grandes masas de hielo. Ejemplo de ello es lo sucedido en el año 2010 con el Glaciar Peterman en Groenlandia. Fenómenos normales de la naturaleza, pero que tienen gran relevancia como posibles indicadores del cambio climático global. Esos indicadores podrían ser las grandes masas de hielo que se desprenden, (del glaciar Peterman se desprendieron 160 Km^2), y el periodo de tiempo anticipado con que lo hacen. Se calcula que en el transcurso del último siglo la temperatura media global de la Tierra aumentó poco menos de un grado Celsius ($0,74^\circ\text{C}$). El IPCC atribuye este calentamiento a las actividades humanas que aceleran y aumentan el efecto invernadero. Estudios realizados en base al análisis de anillos de crecimiento de pinos en Mongolia, han demostrado que, la temperatura media mundial se ha incrementado en los últimos 100 años.

No obstante en la Tierra primitiva, muchísimo antes de la existencia de los seres humanos y más precisamente hablando, hacia finales del Pérmico ¿hubo incremento del efecto invernadero? Simanaukas (2008) sostiene que:

En los polos y en las nuevas cordilleras se formaron casquetes polares gruesos que quitaron agua y provocaron un descenso generalizado del nivel del mar,...al retirarse el mar, los fondos marinos, cargados de materia orgánica de toda la vida que sobre ellos había existido, quedaron expuestos. El oxígeno de la atmósfera reaccionó químicamente con estos compuestos y formó grandes cantidades de CO_2 ...que fueron a la atmósfera aumentando el efecto invernadero (p.55).

Como consecuencia de este fenómeno, y de los vientos que advectaban la humedad hacia los polos, se evidenció un aumento de temperatura en los trópicos y desiertos, y un incremento de hielo en los polos de la primitiva Pangea. No se puede asegurar que este fenómeno de calentamiento de la Tierra, causados por la alta concentración de gases de efecto invernadero, tenga incidencia directa en el derretimiento progresivo de los cascos de hielo tanto del Polo Sur como del

Polo Norte, ya que este suceso podría deberse a otras causas, entre las que se podrían mencionar la inclinación del eje y la variación de la órbita terrestre, tal como lo propone la teoría de Milancovitch. Sin embargo, en estas regiones más que en ninguna otra, se puede observar que la biodiversidad ya está perturbada. Se puede comprobar en el hecho que en el Ártico el deshielo se acrecienta un 8% cada diez años, cuando en el periodo de 1979-2001 era de 6.5%.

Así como se sobrecalienta la atmósfera también lo hacen las superficies de los océanos, los rayos del Sol que inciden en ellos son absorbidos en aproximadamente un noventa por ciento. Esto colabora en el derretimiento de las masas de hielo. Asimismo se manifiesta en el desprendimiento de las masas gélidas que se desmoronan y causan el incremento en el nivel medio del mar, donde el agua dulce de los glaciares se agrega al agua salada de los océanos. Así también, la historia habla por sí misma, hace aproximadamente 20 mil años ocurrió el último periodo glacial y en los milenios que lo sucedieron el nivel del mar subió unos 125cm a nivel global, la causa de este fenómeno fue la fusión de los hielos.

Las consecuencias que provocan estos derretimientos pueden observarse en la escasez de agua dulce y pérdida de playas y acantilados que se generan en las zonas costeras de los cinco continentes. Y si se siguen buscando efectos negativos, se podrá calcular en costos económicos, culturales, sociales y humanos, por las huellas que va dejando a su paso la invasión de las aguas. Las banquisas o aguas oceánicas congeladas, por ejemplo, han perdido el 40% de su espesor en los últimos 40 años. Se evidencia entonces un retroceso de los glaciares, tal como lo manifiesta Charles Schmidt en la revista Ciencia y Trabajo (2011)³

El glaciar Pine Island tiene un promedio de pérdida de masa de 5,49m anuales; su vecino, el Glaciar Smith, un promedio de anual de 8,23m; y el Glaciar Thwaites, un promedio de 3,66m por año. En 1978, el Glaciar Qori Kalis -una variante del casquete de hielo Quelccaya-tuvo una pérdida de masa anual de 5,49m pero en los últimos 15 años y, desde 1978, ya se ha perdido un 25% del Glaciar (p.11).

¿Que implica la retirada de los Glaciares? Es un tema de debate entre los científicos, los informes del IPCC predicen la escasez de agua dulce en diferentes regiones dependientes del agua estacional, sin embargo, otros autores definen

3 Schmidt Charles W. (2011) Fundación Científica y Tecnológica. Ciencia y Trabajo año 13 numero 39 [en línea <http://www.cienciaytrabajo.cl/V2/index.html>] Fecha de consulta 10 de Abril de 2012.

como exagerado este panorama ya que no solamente de la escorrentía glaciar depende el agua de los ríos, sino también de las lluvias y el deshielo. Si bien el retroceso es generalizado, existen otros glaciares que se hallan a mayor altura y por debajo del punto de congelación y, en principio, éstos se encuentran estables como los Glaciares del oeste del Himalaya. Pero ¿qué importancia pueden tener estos retrocesos para la vida? el agua es un factor indispensable para la vida en la Tierra. Se encuentra presente en sus tres estados de agregación, cada uno de ellos se sitúa en una perfecta armonía y cumple un papel importante en el *ciclo del agua* y por lo tanto en el equilibrio dinámico del planeta. Los glaciares son hábitat de una gran biodiversidad, contribuyen a reflejar en un 90% los rayos del Sol, retienen más del 70% del agua dulce de la Tierra, conservan el agua en las épocas de lluvia en forma de hielo y las restituyen al derretirse en el verano, formando lagos que emergen y luego desaparecen de un período a otro. La fusión de los glaciares manifestado en los vaciamientos violentos de lagos interglaciares (GLOF) sumado al aletargamiento de los lagos río abajo pueden ocasionar desastres ecológicos y materiales, como en Perú, en el 2006, donde una avalancha que se desprende del casquete glaciar de Quelccaya impactó sobre uno de estos lagos y ocasionó la inundación de todo el Valle, además de la ruina de una represa.



Figura 1.1 Glaciar Upsala

Fuente: <http://argentina.indymedia.org/news/2004/05/199681.php> Epígrafe: Retroceso del glaciar Upsala en el Parque Nacional los Glaciares en la Provincia de Santa Cruz. La imagen de arriba corresponde a 1928 y la de abajo fue tomada en Enero de 2004.

El problema con el retroceso de los glaciares es que, normalmente, la pérdida de hielo en el verano es compensada con las nevadas del invierno. Lo que

está ocurriendo actualmente en Groenlandia, es que la capa de nieve disminuye a medida que aumentan las temperaturas (se registró un descenso de la misma desde 1988 y permanece baja desde entonces), pero si esta pérdida es mayor a la provista por las nevadas, la consecuencia inmediata es que la masa de hielo disminuye. Por consiguiente, en una región costera el agua de mar podría invadir la superficie terrestre hasta el glaciar, perdiéndose agua dulce que disminuiría progresivamente en caso de intensificarse este fenómeno. Esto se comprueba en lo expuesto en el informe del IPCC (2007) donde señala que *“El aguanieve de montaña equivalente disminuyó a partir de 1950 en un 75% en las estaciones supervisadas del oeste de América del Norte. La profundidad de la nieve de montaña también disminuyó en los Alpes y el sudeste de Australia”*

Desde los últimos 150 años el periodo de congelamiento de ríos y lagos se retrasa, mientras que el de disolución se adelanta. El permafrost se derrite debido al aumento de temperatura en su superficie (en Alaska y en la Meseta Tibetana en promedio de 0,04 m/año y 0,02 m/ año respectivamente). De continuar derriéndose los hielos a la velocidad en que lo están haciendo, tendrán inevitablemente un impacto en el acceso de agua dulce, y de este modo impactarán también sobre las diversas formas de vida que de ella dependen, además de contribuir al incremento del nivel medio del mar.

La invasión de las aguas

Hablando en términos globales se ha evidenciado un retroceso generalizado de los glaciares. Este acontecimiento promueve otro de singular importancia: *el aumento del nivel medio del mar*. Si observamos un planisferio, lo primero que vemos son las grandes masas de tierra emergida de los cinco continentes, y probablemente, no prestemos atención a las innumerables islas alrededor de estas y/o rodeadas de los océanos. Pero son estas islas, y sobre todo aquellas con pocos metros de altura las más afectadas ¿por qué ocurre esto? Porque cuando el agua se calienta, se dilata y aumenta de volumen. También lo hace por la incorporación de agua de los derretimientos glaciares, en especial de los de Groenlandia y la Antártida. Tuvalu, por ejemplo, es un país ubicado en la región de la Polinesia, en Oceanía. Es propenso a inundaciones debido a este fenómeno, ya que posee solo 5m sobre el nivel de mar. Debido a las predicciones del IPCC y a las eventuales crecidas del mar, esta isla ha llegado a un acuerdo con Nueva Zelanda para que acepte albergar inmigrantes en caso que se vean amenazados por el avance de las

aguas. Su representante legal Apisai Ielemia declaró ante la ONU, Martón (2008) *“Los ancianos se han dado cuenta de los cambios: las playas han desaparecido, pequeños islotes han quedado bajo las aguas y los arrecifes de coral están comenzando a morir debido a la intrusión de agua salada”* (p.48)

Pero aquí no termina la historia, ya que otra isla, Lohachara perteneciente a la India, ha desaparecido del mapa ¿Cómo? ¡Así es! En el 2006 se supo que fue invadida por las aguas y sus habitantes, unas 10 mil personas, pertenecen hoy a la lista de refugiados ambientales. Estas personas han perdido sus hogares, sus cultivos y sus pertenencias.

Las catástrofes naturales al orden del día: huracanes, sequías, inundaciones...

El diccionario de la Real Academia Española (2010) define como catástrofe a un “acontecimiento imprevisto y funesto”. Durante el siglo XX, la humanidad ha sido testigo de cataclismos sumamente destructivos en todo el mundo. Estos fenómenos podrían atribuirse a factores climáticos naturales o a causas antrópicas.

¿Podemos decir que el calentamiento global es causa de las catástrofes ambientales? ¿Son los seres humanos los responsables de ese sobrecalentamiento? Sabemos que una de las características de las ciencias es buscar explicaciones causales a los fenómenos a los que se intenta dar respuesta. Es por ello, que la mayoría de los autores de las publicaciones científicas consultadas, siguiendo esta tendencia, han tratado de encontrar al “responsable” o a la causa de cualquier evento “fuera de lo común” en lo que respecta al clima.

También personalidades de la política mundial intervienen en el debate. Durante sus conferencias, Al Gore (político y ecologista estadounidense) realiza una comparación entre la concentración de CO₂ en la atmósfera y la temperatura, desde hace 400 mil años a la actualidad. Además plantea una proyección a futuro si no se toman medidas para revertirlo. En el siguiente gráfico, se observa la relación entre estos factores.

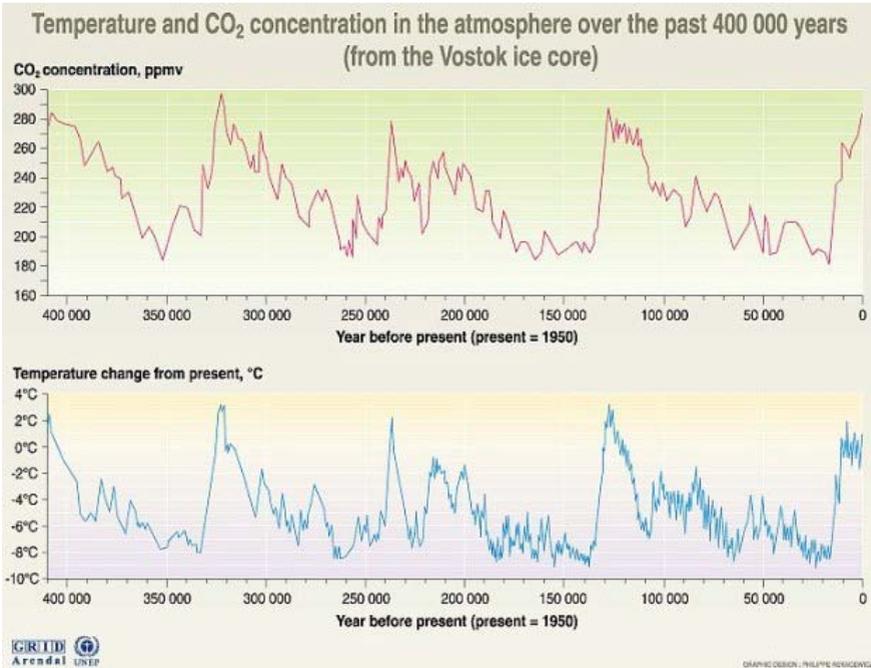


Figura 1.2. Escalas. Fuente: <http://revolucioncientifica.com/matematicas%20y%20realidad/cambio%20climatico%20y%20matematicas.asp>

Durante los últimos 400 mil años, el dióxido de carbono nunca había superado las 300 ppm. En la actualidad ese valor se ha superado y de acuerdo a las mediciones recientes sigue en aumento.

En este contexto, se responsabiliza a las actividades antrópicas de este incremento, y por consiguiente, a la modificación del clima y la ocurrencia de las catástrofes naturales ocurridas en el transcurso del siglo XX. Ejemplo de ello es el huracán Katrina, acontecido en Agosto del 2005 en Estados Unidos. Sin embargo, algunos autores no comparten esta postura. Ya que según proponen, el clima es absolutamente variable de acuerdo a los registros de diversos acontecimientos catastróficos en la historia del planeta, y hasta parecería que ésta es una particularidad de la dinámica cambiante del planeta Tierra y las fluctuaciones del clima. Trenberth (2007) se refiere a que *“No se puede proclamar que un ciclón determinado haya sido “causado” por el calentamiento del planeta, pero no cabe duda de que este influye en la fuerza de las tormentas y en la precipitación asociada”*

El doctor en Ciencias Meteorológicas, Vicente Barros, no atribuye todos los eventos catastróficos al calentamiento global. Sin embargo, en su libro “El Cambio Climático Global” (2006), afirma, luego de varias contraposiciones entre causas naturales del calentamiento y las emisiones de GEI, que estos últimos sí corresponden a una irresponsable actitud de la humanidad en la emisión de los mismos. Así observamos que la predisposición al calentamiento registrada en el último siglo presenta, sin dudas, un carácter antrópico al cual se adicionan los procesos naturales, es decir, que estos últimos, por si mismos, no pueden explicar el calentamiento sin el componente humanidad.

Al mal tiempo... buena cara

Durante el presente siglo, se han registrado 28 huracanes en nuestro planeta. Pero una peculiaridad, es que la mayoría de estos se produjeron en el año registrado como el más caluroso después de 1998, el 2005. La industria petrolera más grande del mundo en el Golfo de México fue destruida por el huracán Dennis. En Agosto del mismo año el huracán Katrina en Nueva Orleans. El Wilma que alcanzó tierra en la península mexicana de Yucatán, Cuba y Florida (Estados Unidos), dejando un saldo de 2.048 muertos y millonarias pérdidas económicas. Otro hecho a destacar es el huracán Vince de categoría 1 que insólitamente se formó al noroeste del Atlántico Norte. Afortunadamente se debilitó al tocar tierra en España. Era la primera vez un ciclón tropical llegaba a este país.

El año 1998 no se quedó muy atrás. También fue testigo de tormentas devastadoras. En Nicaragua y Honduras, el ciclón tropical Mitch dejó un saldo de 11.000 víctimas fatales. En el 2004 otro evento similar ocurrió en Brasil. (Martón 2008 p. 61) señala que:

Los meteorólogos no pudieron reconocer las características y potencia del huracán... las fuertes lluvias y vientos provocaron inundaciones que dañaron 40.000 viviendas y destruyeron 1.500; se perdió el 80% de la producción de bananas; y el 40% de los cultivos; 3 personas muertas, 75 heridas y pérdidas cuantificadas en 350 millones de dólares.

Pero ¿Por qué se relacionan los huracanes con el calentamiento? Porque para que un ciclón tropical se forme es necesaria una temperatura mayor a 26°C en la superficie del océano y hasta 15m por debajo de ella, es decir, que ocurren sobre las zonas más cálidas de los océanos tropicales. Además, un huracán presenta

una depresión tropical o un centro de baja presión y alrededor de éste, soplan los débiles vientos que, acompañado de la elevada temperatura, dan origen a una alta evaporación desde el océano, formando nubes y por consiguiente precipitaciones. En la medida en que la presión en su centro disminuye, aumenta el viento y al llegar a los aproximadamente 120 Km/h, se convierte en huracán. Ahora bien, la capacidad del océano de incorporar calor es mucho mayor a la de la atmósfera. El calentamiento global se corresponde, como ya se ha mencionado, con la mayor humedad atmosférica y con el aumento de la temperatura de la superficie del mar. Es por ello que se podría atribuir la responsabilidad de una mayor incidencia de huracanes en el último siglo, al calentamiento global.

Asimismo, existen zonas donde se ha observado un comportamiento diferente, el IPCC (2007) expresa que: *“A pesar de la corriente mundial de calentamiento, se observaron variaciones decenales importantes en la serie de tiempo mundial donde los océanos se enfrían en regiones extensas. Hay zonas del Atlántico Norte, Pacífico Norte y Pacífico Ecuatorial que se enfriaron durante los últimos 50 años”*.

“¡Qué loco está el clima!”

El calentamiento global se da en todo el planeta y las evidencias se observan en las diferentes regiones del mundo. En algunos lugares, son las abundantes inundaciones precedidas por intensas lluvias, en otros se observa un incremento en el número de sequías. Una paradoja es que ambos desastres se pueden manifestar en un mismo país. En Mozambique, en el año 2007, se observó una gran sequía en la región sur, cuando el río Zambeze del África Austral, más al norte se desbordaba. Así también en el año 2001 en Honduras, un país de América Central, fue afectado por una sequía que perturbó a millones de sus habitantes, y meses después un huracán inundaba campos y cultivos.

Estos acontecimientos traen varios problemas: migraciones, pérdida de cultivos, enfermedades, refugiados climáticos.

IPCC (2007): *“La columna de vapor de agua total aumentó en los océanos mundiales en un $1,2 \pm 0,3\%$ por decenio (95% de límite de probabilidad) desde 1988 hasta el 2004”* es decir, que el aumento de vapor de agua predispone una mayor humedad atmosférica creando las condiciones para que se produzcan las precipitaciones. En la República Argentina, los desastres más continuos y repetitivos del último siglo son las inundaciones provocadas por las abundantes precipitaciones (lo que no quita que influyan otros factores como el mal funcionamiento de los desagües), aunque no está exenta de sufrir otros tipos de acontecimientos meteorológicos.

lógicos, como por ejemplo, el tornado que afectó a la Provincia de Buenos Aires en Abril del 2012, que dejó más de una docena de muertos y pérdidas económicas y materiales muy importantes.

Se pueden mencionar también, las inundaciones en la provincia de Santa Fe durante el año 2003 (según un informe del Ministerio de Salud y Ambiente afectó a más de 140000 personas). No es difícil imaginar las consecuencias de estos acontecimientos: daños en infraestructuras e impactos sobre la biodiversidad.

¿Podríamos argumentar que el cambio climático ocasiona mayores precipitaciones? ¿Por qué? Evidentemente, cuanto mayor es la concentración de gases de efecto invernadero, mayor es el calor, por lo tanto, habrá más evaporación y más nubes que pueden condensarse y precipitar. Sin embargo, los aerosoles reflejan otro escenario, también contribuyen en la formación de las nubes y al haber mayor cantidad de partículas suspendidas en el aire, mayor es la cantidad de gotas pequeñas en las nubes y, por consiguiente, aumenta su albedo. “el cambio climático implica modificaciones en la circulación de la atmósfera, los cuales traen aparejados cambios en el régimen de lluvias de forma que existen zonas con inundaciones más frecuentes y otras con sequías recurrentes.

Enfermedades y algo más...

¿Existe alguna relación entre el cambio climático y la salud humana? ¿Qué enfermedades podrían ser consecuencias de un incremento en la temperatura media global?

El hombre está integrado al medio ambiente y éste ejerce influencia en la salud humana. En la actualidad, las condiciones del ambiente están siendo modificadas por intervención antrópica, y el equilibrio climático que habría existido hasta el presente, podría sufrir modificaciones, afectando de este modo la salud de la población en general.

Las condiciones climáticas hasta ahora descritas propician la difusión de vectores y parásitos infecciosos transmitidos por agua y alimentos. Por otro lado, la evaporación de la humedad de los suelos genera sequías donde el abastecimiento de agua para la agricultura y la ganadería se podría ver limitado y ocasionaría reducción en la producción y distribución de los alimentos. De esta manera, este cuadro tan controvertido podría favorecer el establecimiento de enfermedades infecciosas. A su vez, por las altas temperaturas, los vectores transmisores de enfermedades también podrían expandir su área de incidencia. Las infecciones

relacionadas con el agua pueden ser las diarreas, que comprende salmonelosis, amebiasis y giardiasis o infecciones como el tracoma. Estas enfermedades pueden ocasionarse por la falta de saneamiento o también se propagan en condiciones de escasez de agua.

La malaria es una enfermedad que podría provocar un desequilibrio en la salud de la población, ya que su vector, el mosquito *anopheles*, con los cambios provocados por las lluvias y el incremento de la temperatura global se trasladaría hacia las altitudes y latitudes consideradas libres de malaria, aumentando así el número de personas susceptibles de contraerla.

Otro vector, el *Aedes aegypti*, es el transmisor del dengue y la fiebre amarilla (habita en zonas de climas cálidos y húmedos). Las nuevas condiciones climáticas podrían favorecer su proliferación. Según manifiesta el Manual de Ciudadanía Ambiental Global (PNUMA)⁴

El cambio climático provocará dos tipos de impactos en la salud, directos e indirectos. Los impactos indirectos estarán relacionados, por un lado, con la expansión del área de incidencia de los vectores de transmisión de enfermedades y por otro, con los cambios en los ciclos hidrológicos, que a través de inundaciones o escasez de agua faciliten la aparición de enfermedades, como el cólera y la diarrea.

Algunos autores sostienen que este “nuevo clima” podría afectar zonas de cultivo, propiciando la aparición de plagas que perjudicarían la productividad de los mismos. Este panorama conllevaría a nuevas inversiones para sostener la productividad, como nuevos sistemas de irrigación, fertilización de los suelos, nuevos agroquímicos, y por consiguiente, los productos alimenticios podrían aumentar tanto su costo, que solo unos pocos podrán acceder a ellos.

La Biodiversidad y el cambio climático: especies en peligro de extinción

La Biodiversidad en nuestro planeta es sorprendente. Para poder dimensionar con mayor exactitud la importancia de su conservación es necesario defi-

4 Manual de Ciudadanía Ambiental Global (PNUMA) [En línea <http://www.pnuma.org/ciudadania/Index.php>.] Fecha de consulta 29 d Marzo de 2012

nirla. Bastera (2008) entiende a la biodiversidad como la variabilidad entre los organismos vivos, incluyendo ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos, y los complejos ecológicos de los cuales forman parte: esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre las especies y de ecosistemas. El ser humano no es un agente extraño a ella, no es un simple espectador, sino que su accionar es determinante en el cambio que se produce en la biodiversidad, ya sea de manera positiva o negativa. Con respecto a esto, Solbrig (1994) (citado en Bastera, 2008) aclara que *“La biodiversidad es la propiedad de los sistemas vivos de ser distintos, diferentes entre sí, no es una entidad, sino una propiedad; una característica de las múltiples formas de adaptación e integración del hombre a los ecosistemas de la Tierra, no un recurso”*. (p.03)

Uno de cada cuatro mamíferos, un ave de cada ocho, un anfibio de cada tres, corre peligro de extinción. Las especies disminuyen a un ritmo mil veces superior que en otras épocas. Pero ¿Es el cambio climático el responsable de tales estadísticas? ¿Se puede atribuir este suceso al calentamiento global?

Veamos algunos hechos que se han evidenciado durante el último siglo.

- Como los océanos también se calientan, la biodiversidad en ellos también podría alterarse. Los corales no soportarían un aumento de 3° C, porque viven en simbiosis con unas algas, que al aumentar la temperatura a más de 30°C abandonan a los mismos provocando su blanqueamiento (son las que le dan su color característico), y el equilibrio del océano depende en gran parte de ellos, ya que albergan muchas especies de algas, peces y moluscos y, si persistiera esta situación, provocaría la muerte de los corales. Coincidentemente en los últimos años se ha evidenciado un aumento considerable de las regiones de coral blanqueado, su causa podría radicar en la polución de las aguas marinas, pero en definitiva el calentamiento también juega un rol importante en este proceso. Se puede agregar, además, que son buenos sumideros de CO₂, puesto que este es usado como material de construcción para formar su estructura.
- Algunos autores afirman que se extinguió cerca del 40% de una urbe de batracios, en un periodo de 10 años. Concretamente, podemos mencionar una región de Costa Rica, la Selva húmeda de Monte Verde, y una especie que allí habitaba, el sapito dorado *Bufo periglenes*. Éste dependía de la humedad persistente de ésta zona, debido a la alta concentración de nubes, incluso en los periodos secos. Esto se puede explicar porque desde la década del setenta, los vientos que se condensan y forman las nubes de esta región elevaron su altura media, ello ocasionó un retroceso de los días de humedad. Como bien

señala Martón (2008): *“Las evidencias apuntan al calentamiento global, en concreto a la disminución de la humedad de la selva...El Niño también ha contribuido a este proceso y la tendencia a largo plazo es de aumento de la sequedad”*.

Asimismo, no podemos obviar otras extinciones ocurridas en la historia de la Tierra, ya que éstas nos presentan un panorama donde la desaparición de especies no se debe exclusivamente al incremento del efecto invernadero por emisiones antropogénicas de GEI. De esta manera encontramos que al finalizar el Pérmico las temperaturas llegaron a ser tan extremas que alcanzaron una media de 30°C, lo que se correlaciona con la extinción de casi el 96% de las especies.

Los daños al ecosistema, y la consiguiente reducción de especies animales y vegetales implican algo más que la desaparición de éstos, es la pérdida de millones de años de evolución, de material genético. Sin embargo, existe la posibilidad de que se generen nuevos escenarios ecológicos con la aparición de nuevas especies. Otro factor “positivo” del calentamiento global, es que zonas de latitudes altas, como la Patagonia Argentina, podrían aumentar su productividad agrícola, debido al aumento de precipitaciones. En cuanto a la mayor cantidad de CO₂ atmosférico, los organismos vegetales se multiplicarían debido a que también se incrementaría su producción de azúcares.

Las plantas como sumidero de CO₂ y la deforestación

Una característica de los vegetales es que son autótrofos, y un factor indispensable para fabricar sus alimentos es el dióxido de carbono. Por ello constituyen un importante sumidero del mismo. Las plantas devuelven el agua del suelo a la atmósfera en forma de vapor, constituyen una capa que aplaca las torrenciales lluvias y protegen los suelos de la erosión. Las selvas y los bosques almacenan el carbono, contienen más carbono que toda la atmósfera de la tierra, son una de las piedras angulares del equilibrio climático del cual depende la vida. Desde la época industrial, la atmósfera se encuentra con un aumento del 30% de este gas, lo que a su vez aumenta progresivamente la temperatura media global.

El desmonte de bosques y selvas constituye sin duda un impacto significativo. Otros son la desertificación, las inundaciones y las sequías, que además son factores que intensifican el efecto del calentamiento global.

Si bien se está tomando conciencia a nivel político del proceso de deforestación y sus implicancias, en algunas zonas, como en el Gran Chaco Argentino,

aún no se han ejecutado medidas que permitan moderar el aumento progresivo de la tala indiscriminada. Así lo demuestran los estudios realizados por la UMSEF (Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal) dependiente de la Dirección de Bosques de la Secretaría Ambiente y Desarrollo Sustentable, quien llevó a cabo un monitoreo de la deforestación del bosque nativo en algunas provincias de las regiones Parque Chaqueño y Selva Tucumano Boliviana de la Republica Argentina, Montenegro (2005) así lo señala:⁵ *“Se calculó la pérdida de superficie boscosa y la tasa anual de deforestación para el período 1998-2002. Para dicho período se obtuvo un total de superficie deforestada de 811.135 hectáreas con una tasa anual de deforestación de -0,82% con valores que varían entre -0.16% y -2.93% entre provincias”.*

Las plantaciones de soja, las exportaciones madereras y la tala para asentamientos urbanos, son algunas causas de la destrucción de bosques y selvas. Si bien las especies madereras y forestales presentes en esta región son importantes para la calidad de vida de la población en general, no significa que pueda explotarse indiscriminadamente sin tener en cuenta un plan de desarrollo sustentable. Una de las estrategias, para poder reducir los impactos del calentamiento global, es la conservación o repoblación de árboles, considerando su gran capacidad de retención de dióxido de carbono.

En lo que respecta a la Selva Amazónica, en los últimos cuarenta años ha perdido una quinta parte de su superficie, la que ha sido reemplazada por ganadería y cultivo de soja.

Este problema conlleva a otro: la desertificación, entendida ésta como la degradación de suelos transformándolos en tierras desérticas. Este fenómeno se incrementa por la erosión eólica e hídrica perdiéndose tanto la sostenibilidad del ambiente como las actividades comerciales a largo plazo.

La Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible posee datos sobre estos tipos de erosión en suelo argentino, al decir de Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2006)⁶

5 Montenegro C. (2005) Equipo técnico de UMSEF Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal-Dirección Bosques-Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable [en línea umcef@medioambiente.gov.ar] Fecha de consulta 6 de Abril del 2012.

6 Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación-Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2006) [en línea www.ambiente.gov.ar/archivos/web/.../File/ILAC_JUNIO_2006.pdf.] Fecha de consulta 6 de Abril del 2012

La erosión eólica representa aproximadamente el 10% del territorio nacional para el año 2000. La misma ocurre principalmente cuando los suelos se encuentran secos sin cubierta vegetal y las partículas pierden cohesión y afectan principalmente las regiones áridas y semiáridas del país. (Rostagno, et al: 2004). La erosión hídrica afecta a aproximadamente el 11% de la superficie total del país para el mismo período...

Indefectiblemente estos fenómenos producen impactos acumulativos, es decir, que todas las actividades antropogénicas se suman directamente o en forma sinérgica y ocasionan el desequilibrio de los ciclos biogeoquímicos.

El petróleo: uno de los protagonistas del calentamiento global

Los seres humanos obtienen energía mediante la utilización del carbón, del gas y sobre todo del petróleo. Pero al mismo tiempo, la quema de combustibles fósiles genera GEI que aceleran el cambio climático. Con la era del "oro negro" hemos modificado la atmósfera de la Tierra en poco menos de 50 años, en mayor medida que todos los hombres que nos han precedido. Prácticamente todo lo que nos rodea es producto del petróleo: la electricidad, el combustible que utilizan los transportes, los petroquímicos, como los pesticidas que exterminan los parásitos de los cultivos, pero algunos son dañinos para la salud humana, algunos contaminan los suelos y las aguas por escorrentías.

En la medida en que crece la población también lo hace el consumo de energía, se han propuesto mundialmente los pedidos de apagones de luz para minimizar el calentamiento global, como así también el uso de bicicletas. Al decir de Jancovici (2010)

El 40% de la producción eléctrica mundial utiliza carbón, y esto asciende al 50% en Estados Unidos o en Alemania, y a más del 90% en China. La electricidad al carbón es alrededor del 20% de las emisiones mundiales de CO₂...Luego el 20% de electricidad mundial es producida con gas, aunque allí no haya más que 400g de CO₂...Por último, el petróleo representa el 5% de la producción eléctrica...el 65% de la producción eléctrica mundial viene de los combustibles fósiles, llenos de CO₂ emitidos. (p.71-72)

Consumismo y comodidad. El estilo de vida que llevamos está determinado por el petróleo. Disfrutamos de un confort del que no podemos desprendernos (motos, automóviles, computadoras). Lo que hace más difícil evitar el incremento de la temperatura media del planeta por lo menos desde una cuestión personal.

Todo en la naturaleza está relacionado, y una simple causa como el consumo de carnes rojas, por ejemplo, podría incidir en el incremento de la temperatura. ¿Cómo? La mayor parte de la población mundial consume carne vacuna. La cría, recría, o invernada de ganado asentado en un solo lugar no permite el crecimiento de hierbas y se talan bosques enteros para su asentamiento. No debemos olvidar que los árboles son importantes sumideros de CO₂. También se utiliza petróleo para fabricar el combustible de los camiones en los que estos animales son transportados. La quema de combustibles fósiles no es la única forma de polución. Los derrames de éste, especialmente en zonas marítimas u oceánicas, provocan muerte de especies ícticas, contaminación de las aguas, evaporación de gases, etc.

Pero una verdad incipiente nos obliga a buscar otras alternativas de energía, el petróleo es un recurso no renovable y se está agotando. Antes del final del siglo la explotación del mismo habrá agotado casi la totalidad de las reservas del planeta ¿Podría ser ésta la causa que nos empuje a buscar energías alternativas que minimicen el calentamiento global?



CAPÍTULO II

Dinámica del Sistema Climático. (Conceptualización de una visión moderna del clima)

María Josefa Mandón

Introducción

La discusión sobre el Cambio Climático está instalada desde hace tiempo en la sociedad. Hablar sobre *cambio* nos lleva a pensar... ¿Será porque hubo una relativa permanencia de las variables climáticas a lo largo del tiempo? ¿Será porque hay alguna previsibilidad en el clima? Obviamente si vamos de vacaciones a una zona tropical sabemos que tendremos una gran cantidad de días de sol y calor. Asimismo, vivir en latitudes altas del globo nos condiciona a la bufanda y el gorro. Lo que sabemos es que el clima del planeta se mantiene, o se ha mantenido, en un equilibrio dinámico. Conocer los procesos y mecanismos que controlan este equilibrio nos permitirá comprender la ocurrencia del cambio, sus efectos y, en particular, analizar la responsabilidad de la especie humana en los actuales escenarios climáticos y su devenir.

El clima se ha descrito y estudiado desde un enfoque antropocéntrico y economicista, orientado a su relación con los sistemas productivos, principalmente agropecuarios. Los parámetros que se consideraban eran entre otros la temperatura, las precipitaciones, el contenido de agua en el suelo, el vector viento, la humedad relativa, la insolación, nubosidad, visibilidad, presión, tiempo significativo: Niebla, tormentas, heladas, etc.

Ampliar el enfoque desde el *clima* al estudio del *sistema climático* y su dinámica requiere superar la mera descripción de estos parámetros atmosféricos específicos y adentrarnos en otros campos del conocimiento, utilizando nuevos conceptos tales como *modelo*, *complejidad*, *sistemas complejos*.

Además, el formidable desarrollo de la informática con computadoras de una potencia y capacidad inimaginables hace unas décadas atrás, ha permitido desarrollar modelos computacionales que manejan gran cantidad de variables, capaces de modelizar sistemas altamente complejos como el sistema climático, y predecir con gran aproximación fenómenos que involucran variaciones en la atmósfera, los océanos y los continentes.

PRIMERA PARTE: Los Sistemas Complejos

El estudio de las problemáticas donde están involucrados el ambiente, el cambio climático, la producción, la tecnología, la organización social, la economía, entre otros, incluyen situaciones que se caracterizan por una trama de múltiples procesos cuyas interrelaciones constituyen las estructuras de sistemas que funcionan como totalidades organizadas, a las cuales se las conoce como *sistemas complejos*.

Es importante notar que la "*complejidad*" de un sistema no está solamente determinada por la heterogeneidad de los elementos o subsistemas que lo componen. Por eso, complejo no es lo mismo que complicado. La palabra compuesta "*sistema complejo*" como nombre y apellido de una única entidad, tiene un significado amplio, pero específico. La característica determinante de un **sistema complejo**, además de la heterogeneidad, es la mutua dependencia, es decir las múltiples interrelaciones de las funciones que cumplen los componentes dentro del sistema total. Un sistema "compuesto de muchos elementos heterogéneos" puede ser complicado, pero poco complejo.

El Paradigma de la Complejidad: El Enfoque Sistémico

Joel de Rosnay en *El macroscopio* (1977), plantea que la ciencia contemporánea ya ha estudiado lo infinitamente pequeño (los virus o los átomos), y lo infinitamente grande (el sistema solar, las galaxias), valiéndose para ello de instrumentos específicos: el microscopio y el telescopio, respectivamente; pero ahora se encuentra ante un nuevo desafío, el estudio de otro infinito: *lo infinitamente complejo*. Y para poder indagar en la complejidad plantea la necesidad de una nueva herramienta equivalente al microscopio o telescopio de la modernidad, y la bautiza como *macroscopio*:

“El macroscopio no es una herramienta como las demás. Es un instrumento simbólico hecho de un conjunto de métodos y de técnicas tomadas de muy diferentes disciplinas... El macroscopio filtra los detalles amplifica lo que une, destaca lo que aproxima. No sirve para ver más grande o más lejos, sino para observar lo que a la vez, es demasiado grande, demasiado lento y demasiado complejo a nuestros ojos” (pag.2).

Siguiendo la perspectiva de Rosnay, nosotros elegimos el término *holoscopia* para designar el instrumento mental que permite estudiar las totalidades complejas. No se trata de un instrumento físico, sino de un instrumento teórico, con una estructura de conceptos, métodos y técnicas, capaz de indagar en la *complejidad*. El holoscopia permite otra manera de ver, de comprender y de actuar, ya que no se centra en los elementos aislados (la célula o la Luna), sino que nos permite captar las *relaciones* entre los elementos, y la dinámica propia de esta complejidad, de la que somos necesariamente parte, y parte interactuante.

El holoscopia nos permite obtener *hologramas*¹ de la realidad compleja, como el cambio climático con su sinnúmero de variables y procesos más o menos aleatorios, más o menos determinísticos, o los factores sociales relacionados con el desarrollo y las cuestiones ambientales. El holoscopia permite ver al mundo como un conjunto de sistemas integrados y en interacción. Un elemento central de este nuevo instrumento es el *enfoque sistémico*²: un conjunto de conceptos, isomorfismos³, modelos y leyes formales relativo a los comportamientos de los sistemas complejos. Se trata de estudiar a los sistemas a partir de su organización interna, sus interrelaciones recíprocas, sus niveles jerárquicos, su capacidad de adaptación y de variación, su conservación de identidad, su autonomía, su crecimiento, su evolución, etc.

1 Los hologramas (del griego: *holon*, totalidad; *grafe*, dibujo, escritura) son imágenes fotográficas tridimensionales hechas con un rayo láser, desde distintos puntos de observación. La holografía fue inventada en 1947 y perfeccionada en 1969. Mientras que la fotografía registra una imagen única desde un sólo punto, la holografía registra una imagen múltiple, integrada, desde distintos puntos simultáneamente.

2 Se puede decir que el mentor de la teoría sistémica es el biólogo alemán Von Bertalanffy, quien realiza una síntesis de los principales elementos teóricos a través de su obra: La teoría general de sistemas (1976) aunque otros pensadores han hecho importantes aportes al desarrollo de este cuerpo teórico: Foerster, Weiner, Van Gigh, Forrester, entre otros.

3 Los *isomorfismos* (del griego, *iso*: similar; *morfos*: forma) son pautas, componentes, estructuras, funciones, procesos o interacciones que demuestran tener las mismas características, pese a pertenecer a diferentes sistemas reales.

Utilizando el enfoque sistémico, podemos definir al clima como un subsistema de nuestro planeta y a su vez como un sistema complejo de elementos en interacción identificando sus componentes e interrelaciones.

Modelos

La modelización es un componente básico de la climatología actual. Analicemos brevemente el concepto de modelo. Todo *modelo* es una construcción cuya formulación en un lenguaje apropiado representa un fenómeno del mundo real, y por medio del cual es posible efectuar predicciones. Los modelos pueden ser verbales, gráficos, concretos, etc. Al describir un fenómeno, p. ej. el mapa de la Argentina es un modelo gráfico de una porción del mundo real, la Argentina. Existen también modelos matemáticos, formales, que permiten realizar predicciones cuantitativas de los fenómenos del mundo real. Una ecuación química es un modelo matemático de la reacción que ocurre entre determinadas variables, y que nos permite realizar cálculos de cantidades de reactivos, cantidades de productos, energías actuantes, etc.

Los límites de la modelización

Los modelos se evalúan por su carácter predictivo; cuando el modelo se aproxima a la realidad que representa, su funcionamiento se ajustará a los hechos y será adecuado para estudiar una porción de la realidad. Asimismo, los modelos ofrecen la posibilidad de plantear diferentes escenarios para experimentar los fenómenos, cosa que es muy difícil de realizar sobre la realidad misma. Disponer de un buen modelo permite adelantarse y tomar recaudos ante los hechos cambiantes del mundo real. Muchas de las preocupaciones sobre el cambio climático tienen relación con la modelización del comportamiento de la atmósfera en relación al aumento o variación de la concentración de los gases, por ejemplo del CO₂, y como esto afectaría a la variación de la temperatura.

Con respecto a los modelos, cabe la frase: *“El mapa no es el territorio”*, que nos alerta sobre los riesgos de la modelización. Cuando trabajamos con modelos no debemos olvidar que estamos trabajando con el “mapa”, nunca con el territorio. Por este motivo, no tiene sentido afirmar que un modelo es verdadero o falso en sí mismo; en la práctica, todos los modelos son incompletos, ya que no pueden tener en cuenta todas las variables del sistema.

Del rigor en la ciencia⁴

... En aquel imperio, el Arte de la Cartografía logró tal Perfección que el mapa de una sola Provincia ocupaba toda una Ciudad, y el mapa del Imperio, toda una Provincia. Con el tiempo, esos Mapas Desmesurados no satisficieron y los Colegios de Cartógrafos levantaron un Mapa del Imperio, que tenía el tamaño del Imperio y coincidía puntualmente con él. Menos Adictas al Estudio de la Cartografía, las Generaciones Siguientes entendieron que ese dilatado Mapa era Inútil y no sin Impiedad lo entregaron a las In-clemencias del Sol y de los Inviernos. En los desiertos del Oeste perduran despedazadas Ruinas del Mapa, habitadas por Animales y por Mendigos; en todo el País no hay otra reliquia de las Disciplinas Geográficas.

SUÁREZ MIRANDA: Viajes de Varones prudentes, libro cuarto, cap. XIV, Lérida, 1658.

La relación entre modelo y realidad es básica para su carácter predictivo, ya que el modelo imita, pero no es la realidad. La conceptualización sobre los componentes e interacciones del modelo es lo que permite que este atienda o se acerque o ajuste a la complejidad del proceso natural. Justamente la complejidad y la aleatoriedad de los procesos climáticos ponen en tensión a los modelos que sobre ellos se diseñan.

Los modelos climáticos

Un Modelo Climático es una representación cuantitativa del sistema climático y de sus interacciones y sus procesos de retroalimentación, basada en la identificación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, y que incorpora la mayoría de sus propiedades conocidas. Los modelos pueden ser globales o regionales según la superficie del planeta que abarque, y tener diferente nivel de complejidad según el tratamiento más o menos exhaustivo que se realice sobre las variables climáticas. Los modelos regionales también se conocen como "modelos de área limitada". Los modelos de circulación general acoplados atmósfera-océano (MCGAAO) proporcionan la más completa representación del sistema climático actualmente disponible. Los modelos climáticos se utilizan

4 Borges, J. L. (1960). El hacedor. Bs. As. Emecé

como herramienta de investigación para estudiar y simular el clima y para fines operacionales, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales, y están disponibles en muchos sitios web.

Proyección y Predicción

Como se dijo anteriormente la importancia de la modelización radica en que permite predecir el futuro de un sistema con alguna base científica que le otorga mayor certidumbre. En la perspectiva del cambio del clima en el tiempo, y la evaluación del Cambio Climático es necesario aclarar dos conceptos muy relacionados entre sí y que pueden confundirse, como son la Proyección y la Predicción Climáticas.

Se entiende por Proyección climática a la respuesta o comportamiento del clima planteando diferentes escenarios para el comportamiento de las variables climáticas, como emisiones o de concentraciones de gases y aerosoles de efecto invernadero, o variaciones de la cobertura terrestre, frecuentemente basada en simulaciones mediante modelos climáticos. La Predicción climática busca una estimación de la evolución real del clima en el futuro, por ejemplo a escalas de tiempo estacionales, interanuales o más prolongadas. Como la evolución futura del sistema climático puede ser muy sensible a las condiciones iniciales, estas predicciones suelen ser probabilísticas (IPPC, 2007).

La Predictibilidad es la capacidad de predecir el estado futuro de un sistema conociendo su estado actual y sus estados anteriores. En el caso del clima, el conocimiento de los estados anteriores del sistema climático es incompleto, por lo tanto los modelos que se utilicen para realizar predicciones tendrán diferentes grados de certidumbre. Por otra parte, debido a que el sistema climático es inherentemente no lineal y caótico, la predictibilidad del sistema climático es inherentemente limitada, incluso aunque se utilicen modelos y observaciones arbitrariamente precisos, existen limitaciones a la predictibilidad de un sistema no lineal tan complejo como el clima (AMS, 2000).

El clima de Manchester y el padre de la química.

Nuestra cultura moderna promueve la especialización y la fragmentación del saber en disciplinas. El estudio de la noción de átomo, por ejemplo, queda circunscripto a la química; sin embargo es poco conocido que el desarrollo de este concepto está íntimamente relacionado con la meteorología y con el estudio del clima, y viene de la mano de un hombre de ciencias muy religioso llamado John Dalton, reconocido como uno de los padres de la química moderna. Aunque se lo recuerda mucho más por sus estudios sobre la percepción de los colores (una de esas alteraciones, que él padecía fue bautizada con su propio nombre: Daltonismo), sus aportes al desarrollo de la teoría atómica y la química moderna han sido fundamentales.

A veces las vicisitudes paralizan a las personas y en otras oportunidades les otorgan una fortaleza incuestionable. Este último es el caso de Dalton, un auténtico autodidacta que nació el 6 de septiembre de 1766 en el seno de una humilde familia inglesa de disidentes religiosos cuáqueros en la localidad de Eaglesfield, (Cumberland). Debido a los escasos recursos de su familia dejó a los 12 años sus estudios de Matemática en una escuela cuáquera de su localidad para trabajar como maestro de otros niños y jóvenes de familias cuáqueras. Sus férreas creencias le generaron muchas dificultades, ya que a los disidentes religiosos se les impedía asistir y ejercer la docencia en las universidades inglesas. Debido a estas limitaciones su existencia fue muy modesta, y sus empleos estuvieron muy relacionados con su fe. Tras ejercer en varias escuelas cuáqueras, en 1793 un adulto Dalton de 26 años se traslada a Manchester y pasará allí el resto de su vida, trabajando primero como profesor en el New College, una academia de disidentes religiosos, y luego como profesor y tutor privado.

A la edad de 20 años Dalton ya había evidenciado un creciente interés por el clima y sus variables, que lo condujo a estudiar y registrar, incluso mediante el diseño de nuevos instrumentos, un gran número de fenómenos meteorológicos, acumulando unas 200.000 observaciones sobre el clima en el área de Manchester, a lo largo de más de 57 años. Sumado a esta perseverancia, tenía una amplia formación en distintas ramas de las ciencias y una aguda imaginación, particularmente para la elaboración mental de complejos modelos físicos junto con la posibilidad de establecer relaciones entre numerosos fenómenos, aparentemente inconexos. Estas capacidades le permitieron arribar a importantes desarrollos teóricos sobre la constitución de la materia y sus propiedades, a partir de su habilidad para establecer relaciones matemáticas entre los datos.

Su interés por la meteorología lo llevó a estudiar el aire e indagar sobre la composición de la atmósfera, y con un paso más allá, a poder abstraer las propiedades de los gases en general, a partir de la mezcla de gases particular que es la atmósfera.

Efectivamente, una de sus primeras preguntas surgió a raíz de sus conocimientos de meteorología: Encontró que las muestras de aire, tomadas a diversas alturas⁵, tenían la misma proporción en cuanto a los gases que la forman, a pesar de que estos tienen diferente densidad. Debido a esto podría esperarse que el nitrógeno, por ser menos denso que el oxígeno, se mantuviese flotando sobre este último, como ocurre con el aceite sobre el agua. Entonces ¿Cómo podría explicarse esta homogeneidad a partir de una mezcla de gases de densidades tan diferentes, especialmente en cuanto al nitrógeno, oxígeno y vapor de agua?

En ese tiempo estuvieron en juego dos modelos sobre la constitución de los gases: el modelo estático y el modelo dinámico de las partículas que componían el gas. El modelo dinámico que involucraba la agitación térmica de las partículas y el concepto cinético del calor era apoyado, entre otros, por el Conde Mumford. Dalton que no podía admitir el modelo dinámico por su fuerte compromiso teórico con las ideas de Isaac Newton y adscribió a un modelo estático de las partículas materiales, debiendo recurrir a la teoría -errónea- del calórico⁶ para explicar las propiedades del aire, y justificar por qué no podía haber estratificación: las partículas estáticas contiguas de diversos tamaños tenderían a repelerse, como consecuencia de las capas de calórico que las cubrirían, hasta que se alcanzara la estabilidad en una mezcla homogénea. Este debate entre modelos estático y dinámico de partículas, y entre la teoría del Calórico y la Cinética Corpuscular pone en evidencia que el desarrollo de la ciencia no es lineal, y que a veces conceptos erróneos resultan fructíferos para desarrollos posteriores, y resultan interesantes ejemplos de paradigmas rivales en términos khunianos.

Finalmente, y gracias a la meteorología Dalton formuló su teoría atómica, tomando el concepto de átomo del griego Demócrito, quien en el siglo V ac. propuso que la materia estaba compuesta de partículas individuales indestructibles llamadas "átomos"⁷, y que el tamaño y la forma de estas partículas eran los responsables de las

5 Los desarrollos tecnológicos de fines del S.XVIII, sólo permitían tomar muestras de aire a pocos km. sobre la superficie del suelo. Como en muchos casos en la historia del conocimiento científico, todo el desarrollo de la teoría atómica se debió a este error de generalización, ya que a mayores alturas la composición del aire es notablemente diferente.

6 Teoría del Calórico: Modelo físico aceptado durante gran parte de los S.XVIII y S: XIX que explica las características y comportamientos físicos del calor como un fluido hipotético, el fluido calorífico, ígneo o calórico, bautizado así por Lavoisier en 1787, cuyas principales propiedades son: 1º) las partículas de calórico, a diferencia de la materia ordinaria, se repelen entre sí, pero 2º) son atraídas por los corpúsculos de dicha materia. Estas dos características del calórico permiten explicar gran cantidad de fenómenos donde el calor interacciona con la materia

7 En griego; A: sin: tomo: parte, división. Que no se puede dividir.

propiedades de materia. Cabe aclarar que las ideas de Demócrito eran especulativas y filosóficas, a diferencia de las de Dalton que, si bien tienen un importante componente intuitivo y especulativo, están acompañadas de una base experimental. En síntesis, las ideas fundamentales del esquema conceptual de Dalton pueden resumirse en:

1. 1. *La materia consta de átomos indivisibles.*
2. 2. *Los átomos particulares son invariables.*
3. 3. *Los compuestos están formados por moléculas.*
4. 4. *Todos los átomos o moléculas de una sustancia pura son idénticos.*
5. 5. *En las reacciones químicas, los átomos ni se crean ni se destruyen, solamente cambia su distribución.*

Esta relación de Dalton con la meteorología se evidencia también en el nombre puesto en su honor y en reconocimiento a sus observaciones, al último de los Mínimos, que son períodos prolongados de baja actividad solar donde coinciden la disminución e inexistencia de manchas solares y el descenso marcado de la temperatura terrestre: El mínimo de Dalton, ocurrido entre los años 1790 y 1830. En este intervalo se ubica el año 1816 registrado como un año sin verano, principalmente en el hemisferio Norte, aunque en nuestro país también tenemos registros sobre el Mínimo de Dalton. La depresión actualmente ocupada por Salinas del Bebedero al sur de la prov. de San Luis, importante yacimiento de sal de mesa, fue un lago salobre de más de 10 metros de profundidad entre los siglos XVIII y XIX cuando el clima era más frío y coincidente con el mínimo de Dalton de actividad solar.

Sumando coincidencias, es sugestivo notar que el importante científico, meteorólogo, químico ambiental, escritor y ambientalista James Ephraim Lovelock, mentor de la Hipótesis Gaia, que visualiza a la Tierra como un sistema autorregulado, estudió química en la Universidad de Mánchester, en la misma ciudad en la que Dalton desarrolló su carrera científica y realizó sus pacientes registros. Evidentemente el sombrío clima de Manchester resulta un estímulo para los meteorólogos.

SEGUNDA PARTE: El sistema climático y sus subsistemas

Según Organización Meteorológica Mundial (OMM), el Sistema Climático es un sistema muy complejo que consta de cinco componentes principales: Atmósfera, hidrósfera, criósfera, litósfera y biósfera, y de las interacciones entre ellos. Si pensamos en los subsistemas como compartimientos contenedores, las preguntas entonces son: ¿Qué contienen y cómo se produce la circulación entre los compartimientos? ¿Qué energía mueve esta rueda? ¿Qué relación tiene esta dinámica con el clima? Veamos, la *atmósfera* comprende la masa gaseosa que cubre la superficie terrestre, la *hidrósfera*, las masas de agua, ríos, lagos, océanos, la *criósfera* incluye los hielos continentales y marinos, nieve y permafrost, la *litósfera* las masas continentales con sus accidentes y los primeros metros de la corteza, o sea el suelo, ya que los componentes más internos del planeta no participan directamente del sistema climático, salvo en el caso del vulcanismo, y la *biósfera* comprende los organismos vivos de los ambientes aeroterrestres y acuáticos.

Estos subsistemas se encuentran en permanente interacción e intercambio a través de flujos de materia (flujos de agua líquida o vapor, otros gases y partículas) y energía (radiación electromagnética, convección, conducción, energía potencial, energía química), mediados por procesos físicos y químicos.

El sistema climático tiene directa relación con los grandes ciclos biogeoquímicos del planeta, en los cuales la materia circula y se transforma entre los reservorios de sus subsistemas. Estos ciclos de retroalimentación de largo plazo son los responsables del equilibrio dinámico en las variables físico-químicas de nuestro planeta, como por ejemplo: la composición de gases de la atmósfera, la concentración de sales en el mar o la relación entre la cantidad de agua líquida y de hielo. La circulación de materiales entre los diferentes subsistemas, los procesos químicos que realizan los seres vivos, y la reactividad química de los diferentes elementos y compuestos son la cara visible de estos mecanismos homeostáticos que regulan la composición del planeta como si este fuera un gran organismo vivo, tal como lo propuso Lovelock en su hipótesis Gaia.

La hipótesis GAIA

Gaia (o Gea) es el nombre de la diosa griega de la Tierra. La hipótesis Gaia considera al planeta Tierra como un ente u organismo viviente, como un sistema viviente autorregulado. Esto equivale a decir que la materia viviente de la Tierra, junto con su

aire, océanos y superficie, forman un sistema complejo que puede considerarse como un organismo individual capaz de generar y mantener las condiciones que posibilitan la presencia, permanencia y evolución de todas sus formas de vida. El científico inglés, James Lovelock ideó esta teoría en 1969, aunque la publicó en 1979, y su cuerpo teórico está vinculado a toda una corriente de pensamiento que incluye la Teoría de Sistemas de Von Bertalanffy, la Teoría de la Endosimbiosis de Lynn Margulis, y la de la Autopoiesis de Maturana y Varela, entre otras. Ciertamente, ubicándonos en los niveles de organización biológica, el sistema biológico más grande que conocemos se designa a menudo como biosfera o ecosfera, e incluye todos los ecosistemas, es decir, la totalidad de los organismos vivos y todos los ambientes físico-químicos o hábitats de la Tierra, es decir: Gaia.

Paradójicamente, la consecuencia de esta intrincada red de interrelaciones es que todos los componentes del planeta tienen relación y participación con y en el clima global. En particular, las interacciones de la atmósfera con el resto de los componentes del ambiente determinan el sistema climático terrestre. La climatología, una de las divisiones de la meteorología⁸, es la ciencia interdisciplinaria que estudia el sistema climático.

A esta altura es necesario acordar con mayor detalle qué se entiende por Clima, el que se define en sentido amplio como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo⁹ atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación, presión o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático en términos tanto clásicos como estadísticos. El período de promediación habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

8 La Física y la Química de la atmósfera, integran básicamente a la ciencia interdisciplinaria de la Meteorología, la cual estudia la atmósfera, el estado del tiempo, el clima, las leyes que lo rigen y sus cambios y evolución.

9 Se entiende por Tiempo Atmosférico a las condiciones de temperatura, humedad, presión, etc. reinantes en un momento determinado. Estos valores suelen diferir de los valores estadísticos. Los pronósticos que se difunden por los medios de comunicación se refieren a los cambios del tiempo y no del clima.

La energía. El Sol

El motor que posibilita la compleja dinámica del clima es la radiación solar, fuente inagotable de energía de alta calidad en forma radiación electromagnética (REM).

Desde el punto de vista energético las interacciones que ocurren entre los subsistemas pueden analizarse como transferencias de energía entre un subsistema y otro, a menudo vehiculizada con la transferencia de materia, como en los ciclos del agua, del carbono y otros. Veremos algunos ejemplos significativos.

El suelo, incluyendo a los océanos, tiene un superávit radiativo, mientras que la atmósfera presenta un déficit. Existe por ello y para lograr un equilibrio, una transferencia de calor desde el suelo hacia la atmósfera que está dada por conducción, convección y principalmente por el efecto de calor latente. Asimismo todo el sistema presenta un superávit radiativo cerca del ecuador y déficit cerca de los polos, equilibrio que se establece por acción de la circulación general y da origen a las corrientes oceánicas. Hay transferencias de energía por conducción entre el suelo, la masa de agua y la atmósfera. Por convección se producen las corrientes oceánicas que transfieren energía desde las zonas cálidas del globo a las zonas frías, y de esta manera constituyen un factor importantísimo en la determinación del clima local en distintas partes del globo. La atmósfera y los océanos también intercambian energía por evaporación. Hay una transferencia de calor del océano hacia la atmósfera a través de la formación de vapor de agua. El vapor de agua es un reservorio de energía calórica, como calor latente, que se libera cuando se produce el cambio de estado de gas a líquido o sólido, formándose las precipitaciones o las nubes. Los océanos de la Tierra tienen una inercia térmica colosal debido al alto calor específico del agua (a igualdad de peso, para calentar el agua se necesita diez veces más energía que para calentar el hierro sólido). En síntesis los océanos son reservorios energéticos muchos más eficientes que la atmósfera, debido a las propiedades tan particulares del agua (su capacidad calorífica es 4,2 veces mayor que la del aire). Debido a esto, la capa de agua oceánica en contacto con la atmósfera almacena aproximadamente 30% más energía que la atmósfera. En consecuencia un cambio en la temperatura del océano redundará en una variación 30 veces mayor en la temperatura de la atmósfera.

Mecanismos de transferencia de calor

¿Podemos hablar de una homeostasis¹⁰ en el planeta como ocurre en los animales? Los principales procesos responsables de la regulación de la temperatura corporal en los animales homeotermos¹¹ son la radiación, convección y evaporación de agua. El termotato que regula la temperatura es una glándula situada en el cerebro, el hipotálamo. Si se incrementa la temperatura, por ejercicio intenso, por ejemplo, el hipotálamo envía señales que inician la vasodilatación periférica y la transpiración, y la piel transfiere una mayor cantidad de calor fuera del organismo. Aunque parezca extraño, o poco habitual, los animales perdemos calor por radiación, y a pesar de que la diferencia de temperaturas entre los animales y su entorno no es usualmente muy grande, el proceso de radiación es el responsable del 54% de la transferencia de calor. El resto es responsabilidad de la convección y la evaporación (Grünfeld, 1991). En el ejercicio intenso, la pérdida por radiación prácticamente no varía y el exceso de calor se intercambia por la transpiración, ya que el agua tiene un alto calor latente de vaporización, por ello el pasaje del agua¹² del estado líquido al gaseoso consume importantes cantidades de energía, lo que determina que se pierda gran cantidad de calor y no ascienda la temperatura corporal. El animal constituye en su ambiente un sistema abierto que intercambia una importante cantidad de energía, como radiación o junto con la materia, mediante la transpiración. Por su parte, nuestro planeta en su conjunto constituye un sistema cerrado, ya que sólo intercambia energía con su entorno: Ingresa energía de alta calidad de una fuente que se encuentra a alta temperatura (el Sol) y egresa energía degradada de baja calidad en forma de radiación infrarroja, calor. El mecanismo que opera es la radiación. Los otros mecanismos de transferencia de calor, la conducción, convección y evaporación, permiten el mantenimiento de los ciclos internos del planeta. Atendiendo a todos estos procesos no es exagerado afirmar que el planeta tiene mecanismos de termorregulación sostenidos básicamente por la combinación del albedo (atmosférico y superficial) y los gases de efecto invernadero. ¡Pareciera que existen entonces sobrados argumentos para sostener que el planeta Tierra es un muy particular organismo auto-regulado, al cual algunos llaman Gaia!

10 Homeostasis: (Gr. homos, mismo o similar + stasis, estar). Mantenimiento de un ambiente fisiológico interno o de un equilibrio interno relativamente estable en un organismo.

11 Homeotermos: Animales que mantienen relativamente constante su temperatura corporal mediante ajustes metabólicos. También llamados de sangre caliente, en oposición a los animales de sangre fría, que no poseen mecanismos internos de control de la temperatura y la regulan mediante ajustes de comportamiento.

12 El calor latente de vaporización del agua a 20°C. es de 580 kcal/kg, esto quiere decir que al pasar una masa de un kg de estado líquido a estado gaseoso a esa temperatura, se consumen 580 kcal.

Un mar de radiaciones

La radiación solar consiste en un amplio espectro de ondas electromagnéticas con un componente visible para los humanos: la luz visible y dos componentes no visibles: la radiación de onda corta de alta energía, que se ubica en la zona del ultravioleta, y la radiación de onda larga ubicada en la zona infrarroja del espectro. Una parte de la radiación infrarroja se percibe como calor. Una parte importante de la peligrosa radiación ultravioleta que llega a la atmósfera superior es absorbida por la capa de ozono. En un día despejado la energía radiante que llega a la superficie de la Tierra se compone de aprox. 10% de radiación ultravioleta, 45% correspondiente al espectro visible y el 45% restante corresponde a las ondas largas de la zona infrarroja.

Si consideramos que a las capas altas de la atmósfera llegan desde el sol 100 unidades del flujo total de radiación electromagnética solar (o de onda corta¹³) podemos seguir los diferentes caminos de esta energía: 23 unidades son absorbidas en la atmósfera (el ozono estratosférico y el vapor de agua troposférico absorben 19 unidades, y el agua líquida en las nubes otras 4 unidades). La superficie de los océanos y los continentes absorben 46 unidades. De las 31 unidades restantes las nubes reflejan 17 unidades, la superficie del suelo otras 6 unidades, y los gases que componen la atmósfera dispersan hacia el espacio exterior 8 unidades, por lo tanto estas 31 unidades son reflejadas hacia el espacio exterior y no participan en los procesos e interacciones de los ciclos naturales y del sistema climático. Las 69 unidades de energía que permanecen en la atmósfera realizan el trabajo que permite el mantenimiento y evolución del planeta y todos sus componentes, incluida la vida y su entorno; transformándose en distintas formas de energía: energía cinética (movimiento de los océanos, atmósfera, ciclo del agua), energía química (procesos biológicos, fotosíntesis y respiración) o energía potencial (elevación de masas de agua mediante el ciclo del agua) para luego de la realización de tan arduas tareas ser devuelta al espacio exterior como energía degradada en forma de calor.

Ahora surge algo curioso: Si la Tierra fuera un planeta rocoso sin atmósfera, su temperatura promedio debida a la radiación proveniente del sol sería de 18°C bajo cero (-18°C), pero esto no es así. Los registros marcan que la Tierra se comporta como un cuerpo negro que radia a una temperatura de 15°C sobre cero (+

13 Radiación solar de onda corta.

15°C). O sea que algo ocurre en nuestro planeta que determina que el balance energético y de temperaturas sea diferente. El secreto para explicar este fenómeno es que la Tierra posee una atmósfera característica que produce un efecto invernadero moderado. Esto explica su temperatura promedio.

La razón por la cual la Tierra tiene esta temperatura tan adecuada para la vida es la presencia en su atmósfera de ciertos gases presentes en mínima proporción, que tienen comportamientos muy particulares, actuando como una manta que retiene las radiaciones infrarrojas calóricas. Esta manta se conoce como efecto invernadero natural, a diferencia del efecto invernadero anómalo. Volveremos sobre este punto más adelante.

Cuerpo negro

Todos los cuerpos emiten y absorben radiación electromagnética. Una propiedad de la energía radiante es que al hacer contacto con un cuerpo cualquiera, éste la absorbe elevando su temperatura y emitiendo, a su vez, energía en forma de ondas electromagnéticas. Esta energía térmica irradiada por un cuerpo es directamente proporcional a su temperatura (en grados Kelvin, °K). Un cuerpo negro es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la radiación (ya sea luz u otro tipo de energía radiante) que incide sobre él, sin reflejar nada, y la remite exclusivamente en función de su temperatura. Muchos cuerpos materiales cumplen de forma aproximada esta propiedad, entonces se dice que se comportan como "cuerpos negros". El cuerpo humano se comporta como un cuerpo negro para la radiación infrarroja: a la temperatura superficial de la piel de 30°C, las ondas de radiación emitidas corresponden al infrarrojo (ondas largas del espectro electromagnético). A medida que se eleva la temperatura de los cuerpos, la radiación se desplaza hacia las ondas más cortas, que son percibidas como luz. El sol irradia en un amplio espectro que va desde las altas energías UV, visible e IR, con longitudes de onda correspondientes a un cuerpo negro que se encuentra a una temperatura de 5700 °K y su mayor emisividad ocurre a los 500 nm, que corresponden al espectro visible, mientras que la tierra lo hace en la zona del espectro de baja energía, en la longitud de onda infrarroja, y emite a la temperatura de + 15°C.

El efecto invernadero

La radiación electromagnética proveniente del Sol que incide sobre nuestro planeta tiene componentes de diferentes longitudes de onda y energía: radiación UV, visible e IR. En la parte superior de la atmósfera se absorbe prácticamente toda la radiación UV de longitud de onda menor de 300 nm, en gran parte gracias a la capa de ozono. Por lo tanto, a la superficie terrestre llega la radiación UV de longitud de onda mayor de 300 nm, la mayor parte de la radiación visible (400-750 nm) y la radiación IR (800-3.000 nm). Parte de esta radiación es absorbida y parte es reflejada. Entre el ingreso y egreso de esta radiación se produce un fenómeno muy particular conocido como *efecto invernadero* y ocurren los principales procesos físico-químico-biológicos que mantienen los diferentes ciclos materiales, y en definitiva la compleja trama de la vida en el planeta.

Fundamentación del efecto invernadero: claves químicas

La explicación clásica del efecto invernadero se aborda desde el punto de vista físico teniendo en cuenta las ondas de radiación. Desde este enfoque el efecto invernadero ocurre debido a que “la radiación solar que llega a la superficie terrestre es en parte absorbida por el suelo; luego el suelo y la propia atmósfera emiten radiación infrarroja. Este tipo de radiación es absorbida por los gases de invernadero produciendo un calentamiento de la atmósfera conocido como efecto invernadero, pues produce el mismo efecto que el vidrio de un invernadero”. Lo que no explica este modelo es porqué se produce la elevación de la temperatura.

Es posible profundizar en la explicación del efecto invernadero, pero para ello, hay que realizar un paseo por la historia de la química.

En el desarrollo del conocimiento científico hubo problemas relacionados con la interacción entre la luz y la materia, uno de ellos es la explicación acerca de por qué al entregarle energía a los átomos, estos emiten luz de longitudes de onda perfectamente definidas. La luz, o la radiación electromagnética en general, a fines del siglo XIX era considerada como un fenómeno puramente ondulatorio, con leyes y comportamientos totalmente diferentes de los referidos a las partículas; pero ciertas propiedades de la radiación de los cuerpos calientes no podían explicarse con esta visión ondulatoria.

En 1900, Max Planck estaba trabajando sobre el problema de cómo la radiación emitida por un objeto se relacionaba con su temperatura (nuevamente la radiación de cuerpo negro!). E introdujo una hipótesis revolucionaria: la luz podría

comportarse también como corpúsculos, llamados *fotones*, con una energía proporcional a la frecuencia de la onda electromagnética asociada.

El importante aporte de Planck consiste en considerar que la materia sólo puede tener estados de energía discretos, cuantizados y no continuos, como lo preveía la mecánica clásica. Así algunos fenómenos de interacción de la materia con la energía, la radiación electromagnética (lo que vagamente llamamos luz) sólo pueden ser explicados suponiendo que dicha radiación se comporta como corpúsculos de energía definida, cuantos de luz, de allí el nombre de la nueva mecánica: mecánica cuántica.

Para comprender el fenómeno del comportamiento de los gases de efecto invernadero se debe apelar a la noción de que las uniones químicas no son rígidas, sino que tienen movimientos tanto rotacionales como vibracionales, y que la amplitud de la vibración es proporcional a la energía del sistema: cuanto mayor es la energía, mayor es la amplitud de la vibración. Pero la energía que puede absorber una molécula para pasar de su estado fundamental a otro estado vibracional excitado no puede tener cualquier valor, sino que está cuantizada, se requiere la incidencia de fotones de energía $h\nu$, según la ecuación de Planck que entregan una cantidad definida de energía, ΔE justa para producir un cambio en la energía de la vibración. Se podría decir que las moléculas pasan de unos estados a otros ascendiendo o descendiendo por una escalera pero no por una rampa. La molécula al regresar a su estado fundamental reemite en todas las direcciones la energía absorbida, incluso hacia la superficie de la Tierra, dando como resultado una elevación de la temperatura en esa zona., fenómeno que se conoce como efecto invernadero. El CO_2 , el H_2O y el resto de los GEI tienen este comportamiento, mientras que los principales gases constituyentes de la atmósfera, N_2 , O_2 y Ar, no son capaces de absorber la radiación infrarroja.

En síntesis, la radiación proveniente del sol incide en la superficie terrestre y esta emite energía con longitudes de onda λ entre 4 y 50 μm , en la zona de radiación infrarroja (IR), la cual tiene una longitud de onda que se corresponde con la energía requerida para excitar las moléculas del CO_2 , el H_2O y otras presentes en la atmósfera, y elevarlas a mayores niveles energéticos. vibracionales. Entonces, el secreto de la acción de los gases de efecto invernadero radica en que estas moléculas al decaer a su nivel energético fundamental, reemiten en todas las direcciones la energía absorbida. Como resultado de estas transferencias de energía, una fracción de la radiación IR emitida por la Tierra no sale al espacio, sino que se retiene en la atmósfera y produce el calentamiento de la superficie terrestre y la atmósfera circundante, elevando la temperatura media a alrededor de 15° C. Con-

trariamente a lo que se cree no es la energía solar directa la que hace confortable la temperatura en la troposfera, sino que esta es calentada por contrarradiación desde el suelo hacia arriba. Mientras más lejos estemos del radiador (la superficie de la Tierra), la temperatura del aire será menor, esto explica la disminución de la temperatura con la altura en la troposfera, que en promedio es de $-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$, conocido como el gradiente normal de temperatura.

Claves físicas: La radiación terrestre saliente y la ventana de radiación

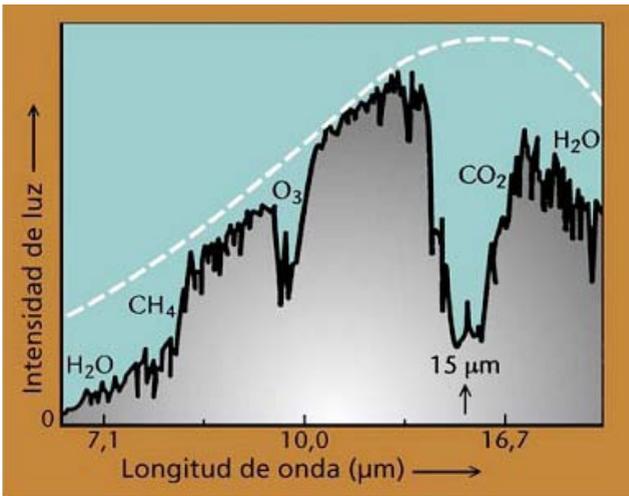


Figura 2.1 Gráfica Intensidad de luz-Longitud de onda. Epígrafe: La línea punteada representa el valor esperado sin la absorción por los gases invernadero. (Fuente: Baird, 2001).

El gráfico superior compara dos espectros de emisión en la región de la radiación infrarroja (IR) y permite evidenciar el efecto que producen en la radiación emitida y evidentemente en la radiación retenida, cierto tipo de gases presentes en la atmósfera. Con línea punteada se representa el espectro de emisión de un cuerpo negro que no tiene gases que absorben la radiación o sea que se trata de un cuerpo sin efecto invernadero. Con línea continua se representa el espectro de radiaciones emitida al espacio por nuestro planeta. Si se comparan ambos gráficos se notará que en algunos tramos el espectro de emisión de la Tierra se “despega” del anterior y más aun presenta regiones del espectro con bruscos des-

censos que marcan en forma clara que hay ciertas longitudes de onda que son fuertemente absorbidas, retenidas por los gases de la atmósfera. Por ejemplo, en el intervalo 14-19 μm hay una importante reducción en la intensidad de radiación infrarroja transmitida al espacio, debida a la absorción de la molécula de CO_2 durante su vibración al variar el ángulo de enlace $\text{O}=\text{C}=\text{O}$, como se explicó en el punto anterior. El vapor de H_2O absorbe entre 5-7 μm y por encima de 14 μm , el CH_4 absorbe entre 7 y 8,5 μm , el O_3 absorbe entre 9-10 μm y el N_2O lo hace entre 7,5 y 9 μm .

En otras regiones del espectro ambas curvas se acompañan, se superponen: estas zonas nos indican que a esas longitudes de onda la tierra emite sin ninguna interferencia, como si no tuviera atmósfera. Esto ocurre especialmente entre los 8 y 13 μm ; siendo la atmósfera en ese intervalo semitransparente a la radiación IR, es decir que no presenta ningún gas que absorba esas radiaciones.. Esta banda de longitudes de onda se conoce como ventana de radiación del vapor de agua, y su existencia y conocimiento es fundamental para poder evaluar los cambios que podrían ocurrir en el clima según los forzantes climáticos en relación a la actividad humana. Supongamos que esta ventana permite que el 10% de la radiación IR proveniente de la superficie terrestre se pierde en el espacio sin ser absorbida previamente por la atmósfera, entonces el aumento de concentración de gases de invernadero a causa de actividades antrópicas pueden “cerrar” la ventana de radiación reteniendo mas radiación IR terrestre y produciendo un real incremento de temperatura. Es imprescindible conocer el comportamiento de la atmósfera en sus rangos de emisión y retención de radiación, para poder evaluar las consecuencias de las variaciones en la composición de la atmósfera.

¿Cuáles son los principales gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera?

Los gases de efecto invernadero (GEI) se encuentran en muy baja proporción en la atmósfera, aunque sus efectos son notables. Los gases mayoritarios en la atmósfera terrestre son el Nitrógeno (78%) y el Oxígeno (20%). El vapor de agua que se encuentra presente en proporción del 1%, respecto del total de gases de la atmósfera, constituye el principal gas de efecto invernadero, representando el 50% de los GEI. Luego le siguen el CO_2 y otros gases que se detallan en el siguiente cuadro:

Principales Gases de Efecto Invernadero	Porcentaje dentro de los GEI
Vapor de agua	50 %
CO ₂	25%
Metano	En conjunto completan el 25% restante
Oxido nitroso	
Halo y Clorofluorocarbonados (HFC y CFC)	
Ozono	
Aerosoles (partículas en suspensión)	

Tabla 2.1 Principales gases del efecto invernadero. Fuente: extractado de Baird, 2001.

Vapor de agua: es el principal gas de efecto invernadero en la atmósfera, la molécula de agua absorbe en mayor medida que el CO₂ la radiación infrarroja, sin embargo, a pesar de su alta concentración en la tropósfera (1 %), no se las asocia con el incremento de efecto invernadero anómalo, de hecho no está incluido en la tabla anterior. ¿Cómo se explica este hecho? El agua participa de un ciclo en nuestro planeta: el ciclo hidrológico con flujos entre los distintos compartimientos (hidrósfera, criósfera, atmósfera, biósfera, litósfera). El tiempo de residencia¹⁴ de la masa de vapor de agua en la atmósfera que es de 9,6 días, mucho menor al tiempo de residencia del CO₂ o del resto de los gases de efecto invernadero. Este ciclo posibilita que la concentración de vapor de agua se haya mantenido relativamente constante en la escala de los tiempos geológicos.

Dióxido de Carbono: también es un componente natural de la atmósfera, y participa al igual que el agua en un ciclo en la biósfera. Pero los valores de los flujos de este ciclo están siendo alterados aceleradamente por causas antrópicas, principalmente por la acelerada combustión de los combustibles fósiles que requieren las sofisticadas sociedades humanas industriales y postindustriales. Por ello, el CO₂, a pesar de no ser el principal gas que absorbe la radiación IR, está provocando, con el aumento de su concentración en la atmósfera, un efecto invernadero anómalo, que tendrá efectos impensables sobre la biosfera en general y especialmente sobre las sociedades humanas. Por otra parte, si tenemos en

¹⁴ El tiempo de residencia se define como el tiempo en que tarda en renovarse la masa total de agua debido al flujo, y puede expresarse de la siguiente manera: $\tau = \text{Masa de agua en la atmósfera} / \text{flujo} = 1,3 \cdot 10^{16} \text{ kg} / 1,35 \cdot 10^{15} \text{ kg/día} = 9,6 \text{ días}$

cuenta los sedimentos calcáreos (carbonatos) de los fondos marinos vemos que su composición depende no sólo de la vida marina (es decir de la biósfera) y de la composición en sales de los océanos (hidrosfera), sino también de la atmósfera, principalmente de la concentración de CO_2 . Estos sedimentos y sus interrelaciones son un factor importante en el ciclo del Carbono.

Metano (CH_4): es un gas que se produce en procesos anaerobios, es decir que se producen sin presencia de oxígeno. El metano se produce en plantaciones de arroz, en los desagües, humedales, ciénagas, etc. También la digestión de los rumiantes incorpora importantes cantidades de metano a la atmósfera. La concentración de este gas en el año 2005 era de 1774 ppb en la atmósfera se ha multiplicado por 2,5 desde períodos preindustriales.

Ozono y CFC: El ozono que se encuentra en la estratósfera y que absorbe gran parte de la radiación UV es denominado "ozono bueno", en contraposición con el "ozono malo" que se encuentra en la tropósfera por debajo de los 10 km, y cuya concentración está en aumento debido a la emisión de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos de los vehículos, plantas industriales y otras fuentes. Este ozono troposférico es perjudicial para los cultivos, la salud humana además de contribuir al efecto invernadero. Otros gases como los clorofluorcarbonados (CFC) también contribuyen al efecto invernadero.

Tiempo de Residencia de los GEI

La concentración actual de estos gases en la atmósfera, la velocidad con que esta concentración aumenta y el tiempo de residencia de los mismos, se muestran en la siguiente tabla:

Gas	Abundancia en ppmv.		Tiempo de residencia (años)	Veloc.de incremento en %	Eficiencia relativa en el Efecto Invernadero	Principal fuente (actividades humanas)
	Actual	Pre-industrial (-1700)				
CO ₂	370	288	50-200	0,4	1	Combustión de combustibles fósiles, deforestación, fabricación de cemento
CH ₄	1,77	0,85	12	0,6	21	Inundación de campos, cría de ganado
N ₂ O	312	285	120	0,25	316	Deforestación. Quema de vegetación
CFC-11 ¹	0,27	0	50-60	0	4.500	Refrigeración. Propelentes

Tabla 2.2 Concentración, tiempo de residencia y efecto relativo de gases de efecto invernadero. Fuente: Bases de la Ciencia Física. IPCC, 2007

En la tabla puede observarse que el CH₄ provoca 21 veces más efecto invernadero que el CO₂ por el hecho de absorber más radiación IR, pero su contribución a este efecto es menor por estar en concentraciones mucho menores respecto del CO₂. Así, se estima que el CO₂ contribuye actualmente al 71,5% del calentamiento, mientras que el CH₄ lo hace con 9,2 %. También puede verse que si bien los CFC se encuentran en muy baja concentración comparados con CO₂, CH₄ y N₂O, su incidencia en el efecto invernadero es importante (alrededor del 9,5%) debido a que son fuertes absorbentes de la radiación IR.

La permanencia de los gases de efecto invernadero en la atmósfera no depende solamente de la reducción de las emisiones, sino que tiene directa relación con los procesos químicos y físicos que eliminan cada gas de la atmósfera. Las concentraciones de algunos gases de efecto invernadero disminuyen casi inmediatamente como respuesta a la reducción de las emisiones, mientras que otros gases pueden continuar aumentando en realidad durante siglos incluso con emisiones reducidas.

La concentración de un gas de efecto invernadero en la atmósfera depende de la relación entre las tasas de emisión del gas a la atmósfera y la duración de los procesos que lo eliminan. En el caso del dióxido de carbono (CO₂), este gas forma parte del Ciclo del Carbono, que intercambia distintas formas químicas de

este elemento entre la atmósfera, el océano y la tierra mediante procesos químicos como la formación de carbonatos entre el océano y la atmósfera, o procesos bioquímicos como la degradación de la materia orgánica la fotosíntesis. Si bien más de la mitad del CO_2 emitido tarda un siglo en la actualidad para eliminarse de la atmósfera, una parte (cerca del 20%) se mantiene durante muchos milenios debido a la propia dinámica del Ciclo del Carbono. Como resultado de este lento proceso de eliminación, el CO_2 incrementa a largo plazo su concentración en la atmósfera, aún cuando su emisión se redujese significativamente. El metano (CH_4) se elimina de la atmósfera mediante procesos químicos, mientras el óxido nitroso (N_2O) y algunos halocarbonos (como los CFC) se destruyen en la atmósfera superior con la radiación solar. Cada uno de estos procesos opera en diferentes escalas de tiempo que pueden tardar desde varios años hasta milenios.

TERCERA PARTE: Estudio de las variaciones del Sistema climático

Como ya enunciamos el clima de la Tierra es un sistema homeostático con una dinámica propia y responde a los cambios en la cantidad de energía almacenada, y en particular a las modificaciones en el balance global de energía entre la radiación solar entrante y el calor saliente de la Tierra. El sistema climático está afectado por la propia dinámica de sus componentes, y tiene una dimensión temporal, depende de la escala del tiempo que se tome. Hay variabilidad en una escala temporal diaria (tiempo atmosférico), estacional (estaciones del año) o a escala de los tiempos geológicos (glaciaciones). Asimismo el clima es un sistema complejo con fluctuaciones caóticas originadas por la interacción entre forzamientos¹⁵, retroalimentaciones y moderadores, por lo que su comportamiento es muy difícil de predecir, aunque es posible una cierta predictibilidad si se tienen en cuenta todos los factores que inciden, tanto astronómicos como los intrínsecos del sistema. Los cambios en los diversos aspectos del sistema climático, como el tamaño del manto de hielo, el tipo y la distribución de la vegetación o la temperatura de la atmósfera o el océano, influirán en las características de circulación a gran escala de los materiales entre los subsistemas, especialmente entre la atmósfera y los océanos.

¹⁵ Forzante, forzante climático y forzante radiativo son términos relacionados con aquellos factores capaces de “forzar” un cambio climático, es decir incidir sobre el equilibrio dinámico de las variables climáticas. Se volverá sobre estos términos más adelante

La Base: Balance energético

En el sistema climático existe un balance entre las entradas y salidas de energía del sistema. Si el balance es positivo, o sea es mayor la energía que ingresa que la que egresa, se produce un calentamiento; si ocurre lo contrario el balance es negativo, y ocurre un enfriamiento. A escala planetaria y considerando largos períodos de tiempo el balance de energía debe ser cero.

Energía de entrada = Energía de salida

Energía del sol = Energía reflejada + Radiación infrarroja emitida (1)

Energía entrante - Energía saliente = 0 (cero)

Lo más interesante de este sistema complejo es que a su vez, el clima responde directa e indirectamente a estas perturbaciones mediante una serie de mecanismos de retroalimentación (feedback) en una tendencia a lograr nuevamente el equilibrio radiativo.

Observando la ecuación (1) es evidente que existen tres formas fundamentales para modificar el balance radiativo¹⁶ de la Tierra:

6. 1. Variación de la radiación solar incidente (por ejemplo: mediante cambios en la órbita terrestre o en el propio Sol). Se trata de forzantes externas astronómicas, que no pueden ser influidas por el Sistema Climático, como ya se dijo.
7. 2. Variación en la fracción de la radiación solar reflejada, por ejemplo, mediante cambios en la envoltura de las nubes, las partículas de la atmósfera o la vegetación, es decir el albedo.
8. 3. Variación en la radiación infrarroja (de onda larga) emitida hacia el espacio, por ejemplo: mediante cambios en las concentraciones de gases de efecto invernadero, que modifican el espectro de emisión (ventanas de radiación).

Las opciones 2) y 3) serán analizadas con detalle en lo que sigue del capítulo. Como toda la energía del sistema climático proviene del sol, un balance nulo significa en términos físicos que toda la radiación solar que ingresa al planeta, es en promedio igual a la suma de la radiación solar reflejada más la radiación infra-

¹⁶ El término *radiativo* alude al conjunto de radiaciones que interactúan en el planeta. Balance radiativo se refiere al equilibrio entre las radiaciones incidentes de entrada y las radiaciones emitidas.

rraja emitida por el sistema climático. Todo factor físico que altera este balance de radiación a escala planetaria, se denomina *forzamiento radiativo*, se trate de un factor natural o un factor antropogénico, es decir causado por la actividad humana. Volveremos sobre este punto más adelante.

El sistema climático varía a lo largo del tiempo debido a su propia dinámica cuando actúan *forzantes climáticas* internos, o debido a *forzamientos externos naturales*, como las erupciones volcánicas o las variaciones solares, y desde la irrupción del capitalismo emerge un nuevo factor en la variación climática: los *forzamientos externos antropogénicos*, originados por las acciones de las sociedades humanas, como el cambio de uso de la tierra o el incremento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera debido al consumo de combustibles fósiles

Forzantes climáticas externas

Se definen como variables externas o forzantes externos, aquellos factores que desde fuera del sistema climático originan cambios en el clima pero no pueden ser influidas en sí mismos (o su influencia puede ser despreciable) por la evolución del sistema climático. Estos pueden ser *astronómicos*, *geológicos* o *antropogénicos*.

Son ejemplos de *forzantes astronómicos* las fluctuaciones en las emisiones de radiación solar, las variaciones de la órbita terrestre alrededor del Sol o los cambios en el ángulo de su eje de rotación.

Los *Forzantes geológicos* más importantes son la inyección de aerosoles volcánicos en la atmósfera, el movimiento de las placas tectónicas y la Deriva de los continentes y los movimientos orogénicos,

En la actualidad para el estudio del cambio climático no solo es necesario estudiar los forzantes ya indicados, sino fundamentalmente conocer los efectos de los forzantes climáticos relacionados con la actividad humana, o *forzantes antropogénicos* como los cambios en la composición de la atmósfera por la incorporación de aerosoles industriales, los cambios en la composición de los GEI por el incremento de los gases de combustión, o los cambios en el uso del suelo y la deforestación.

En síntesis, las variables expresadas como forzantes climáticas que pueden generar cambios en el sistema climático son muy variadas; algunas son externas al sistema climático, como las astronómicas o las geológicas, otras forman parte del propio sistema climático interno de la Tierra, como los cambios en el valor medio del albedo terrestre por variaciones de la composición de la superficie, cambios en

la composición atmosférica, en las corrientes marinas, en la distribución de tierras y mares, cambios en la biosfera... Aunque, como dijimos al principio, se trata de un sistema complejo y de una problemática compleja, por lo que entonces, no sólo son muchas las variables que intervienen, sino que entre ellas se producen interacciones que con frecuencia generan bucles de retroalimentación e interacciones en las que causas locales desencadenan cambios globales. El *efecto mariposa* surgió dentro de las teorías del cambio climático. Por otra parte, el análisis de estos procesos requiere su modelización en variadas escalas espaciales y temporales que abarcan las dimensiones local, regional y global, y escalas de siglos, miles e incluso millones de años.

Desde este marco enfocamos al cambio climático con las siguientes preguntas: ¿Pueden absorber o neutralizar los mecanismos de retroalimentación (feedback) del planeta las acciones antrópicas? ¿Cuáles son los circuitos de retroalimentación más sensibles? ¿Cómo se reflejan las incertidumbres acerca de las retroalimentaciones en la respuesta del sistema climático?

Mecanismos de retroalimentación

Para poder comprender de una manera básica esta dinámica se requieren conocer los mecanismos de retroalimentación que inciden en los procesos.

Existen muchos mecanismos de retroalimentación en el sistema climático que pueden amplificar (retroalimentación positiva) o disminuir (retroalimentación negativa) los efectos de un cambio en los forzamientos del clima. Por ejemplo, con el calentamiento del sistema debido al incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero, la nieve y el hielo comienzan a derretirse. Este derretimiento muestra suelos y superficies de agua más oscuros, que se encontraban bajo la nieve y el hielo. Estas superficies más oscuras absorben más calor solar, causando más derretimiento y, así, sigue un ciclo de autoreforzamiento. Esta retroalimentación, denominada "retroalimentación de albedo de los hielos", amplifica el calentamiento inicial causado por los crecientes niveles de gases de efecto invernadero. Los procesos que presentan retroalimentaciones positivas producen cambios climáticos más rápidos. Contrariamente los procesos con retroalimentaciones negativas producen cambios climáticos más lentos. También se sabe que los sistemas con retroalimentaciones positivas grandes son menos predictibles. Y por otra parte hay algunas incertidumbres que hacen más inciertas las predicciones, como la participación del vapor de agua y nubes.

La detección, comprensión y cuantificación exacta de las retroalimentaciones climáticas han sido el centro de numerosas investigaciones realizadas por científicos que tratan de desentrañar las complejidades del clima de la Tierra.

¿Qué es el forzamiento radiativo?

Forzamiento radiativo es la medida de la influencia que un factor climático ejerce en el cambio del balance de la energía entrante y saliente en el sistema atmosférico terrestre y es un índice de la importancia del factor como mecanismo potencial del cambio climático. El término es muy similar al forzamiento climático que hace referencia a factores que afectan el clima en general, y si bien se relaciona con el balance radiativo que afecta específicamente a la temperatura, su alcance es más amplio. Según el IPCC el equilibrio radiativo controla la temperatura de la superficie terrestre. El término *forzamiento* indica que el equilibrio de radiaciones de la Tierra está desplazado de su estado normal. La palabra *radiativo* hace referencia a que los factores afectan el equilibrio entre la radiación solar entrante y la radiación infrarroja saliente de la atmósfera terrestre hacia el espacio exterior. Cuando el forzamiento radiativo de un factor o grupo de factores se evalúa como positivo, la energía del sistema atmósfera-Tierra se incrementará posteriormente, conduciendo al calentamiento del sistema. Por el contrario, un forzamiento radiativo negativo hará que la energía disminuya ulteriormente, conduciendo a un enfriamiento del sistema (IPCC, 2005).

Un forzamiento radiativo se cuantifica por lo general como la 'tasa de cambio de energía por área de unidad del planeta medida en la parte superior de la atmósfera y se expresa en W/m^2 (Watts o Vatios por metro cuadrado). Los climatólogos enfrentan el desafío de identificar todos los factores que afectan el clima y los mecanismos mediante los cuales ejercen un forzamiento, a fin de poder cuantificar el forzamiento radiativo de cada factor y evaluar el forzamiento radiativo total de los grupos de factores.

El balance radiativo entre la radiación proveniente del sol y la emitida por la Tierra hacia el espacio exterior, presenta una retroalimentación negativa, es decir que un aumento en la radiación solar será mayormente compensado por un aumento en la radiación IR saliente, habrá poco cambio de temperatura y el sistema climático tenderá a permanecer en equilibrio estable. Así lo demuestran los registros climáticos... ¡de los últimos 50 millones de años! Pero este panorama no parece que fuese tan claro en la actualidad. Los factores antropogénicos están influyendo poderosamente sobre la dinámica del sistema climático.

En el cuadro siguiente se comparan los valores de forzamiento radiativo del año 2005 en relación a las condiciones del periodo preindustrial definidas en 1750 y se expresan en watts por metro cuadrado (W/ m²) para procesos naturales y antropogénicos, conjuntamente con la extensión geográfica típica (escala espacial) del forzamiento y del nivel de conocimiento científico (NCC - LOSU en el gráfico) evaluado. Dentro de los procesos antropogénicos se incluyen gases de efecto invernadero de larga permanencia dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y otros gases, el albedo de superficie (uso de la tierra y relación nieve/suelo). Entre los factores naturales se incluyen los aerosoles (nubes, polvo y otros aerosoles atmosféricos). Los aerosoles de origen volcánico aportan un forzamiento natural adicional pero no se incluyen en el cuadro debido a su naturaleza episódica. Se muestra también el forzamiento radiativo neto antropogénico y su margen de variación. Se considera que los factores de forzamiento no incluidos poseen un NCC muy bajo.

COMPONENTES DEL FORZAMIENTO RADIATIVO

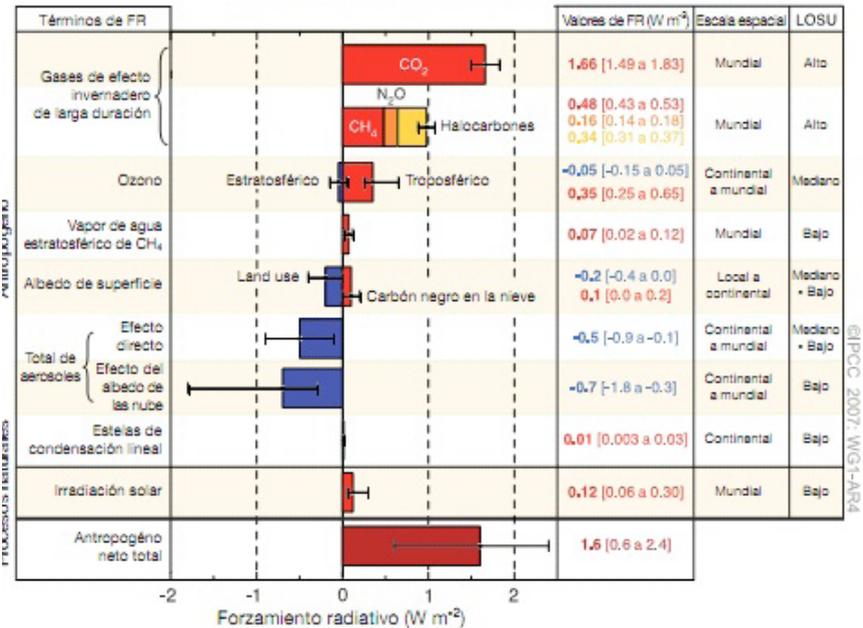


Figura 2.2 Tabla

Para dimensionar el efecto de todas estas variables del balance radiativo se analizarán los mecanismos de retroalimentación para algunos de estos factores climáticos relevantes como el vapor de agua; el hielo, las nubes, la vegetación y el CO₂,

Los aerosoles y el vulcanismo

Hemos visto que aproximadamente el 30% de la luz solar incidente en la alta atmósfera se refleja nuevamente al espacio. Los aerosoles de la atmósfera (nubes y partículas mínimas), son los responsables de las dos terceras partes de esta reflectividad. La nieve, el hielo, los desiertos y otras zonas claras de la superficie terrestre reflejan el tercio restante de luz solar. La variación más significativa en la reflectividad producida por los aerosoles ocurre cuando por erupciones volcánicas muy violentas, son expulsadas cantidades muy importantes de cenizas a alturas por encima de las nubes más altas. Algunos aerosoles antropógenos pueden reflejar también la luz solar significativamente.

La presencia de los aerosoles produce un efecto de enfriamiento directo, ya que sus partículas en suspensión en la atmósfera frenan la llegada de los rayos solares a la superficie terrestre, promoviendo el enfriamiento, y también producen un efecto indirecto al incorporarse a la dinámica de las nubes, La presencia de partículas del tamaño de los aerosoles en las nubes lleva al incremento del albedo, a la reducción de las precipitaciones por dificultar la formación de microgotas de agua que luego producen la lluvia, de manera que las nubes permanecen en el cielo, y todos estos factores que promueve mayor enfriamiento.

En la dinámica corriente, las lluvias limpian la atmósfera de aerosoles con una frecuencia de una o dos semanas, aunque en el caso de las cenizas volcánicas esto no es posible ya que se ubican en las capas altas de la atmósfera permaneciendo allí por largos períodos de tiempo, afectando de diversos modos el clima global. Las grandes erupciones volcánicas pueden, por ende, provocar una caída en la temperatura media mundial de la superficie de alrededor de medio grado centígrado, por períodos de meses y hasta años.

El albedo y la radiación

El albedo es una magnitud que indica la tendencia de una superficie a reflejar la radiación incidente, por lo tanto está asociada a la transferencia de calor por radiación. El albedo se expresa como el porcentaje de radiación que cualquier su-

perficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes más que las opacas, es decir que las superficies claras y brillantes reflejan más la radiación que reciben, por lo tanto se calientan menos; a la inversa, las superficies oscuras y opacas al tener albedos bajos, reflejan poco la radiación incidente y consecuentemente se calientan más que las claras. En síntesis, un albedo alto enfría la superficie, porque la radiación (luz) absorbida y aprovechada para calentarla es mínima, debido a que la mayoría se refleja. Por el contrario, un albedo bajo calienta la superficie, ya que muy poca luz se refleja, y la mayor parte es absorbida, produciendo la elevación de la temperatura.

En el sistema climático el albedo se refiere a la fracción de radiación solar reflejada por una superficie. El albedo puede variar desde valores altos, como en las superficies cubiertas de nieve, a valores bajos, como en las superficies cubiertas de vegetación y los océanos. Los factores que afectan el albedo son la nubosidad en la atmósfera, y los diferentes tipos de cobertura de la superficie terrestre: agua líquida mares y océanos, nieve o hielo total o parcialmente (permafrost), y ausencia o presencia de diferentes tipos de cobertura vegetal, que forman desiertos, pastizales o masas boscosas las que presentan diferentes albedos. El albedo medio del planeta es del 37-39%, es decir que la Tierra refleja, en su conjunto, entre el 37 y el 39% de la radiación que recibe del Sol.

Tipos de Albedo

El agua tiene una participación central en la regulación del clima, ya que se presenta en sus tres estados en la superficie del planeta y sus albedos son diferentes para cada estado. En estado sólido las bajas temperaturas incrementan la cantidad de hielo en superficie, lo que hace más blanco al planeta aumentando su albedo, y consecuentemente se enfría más el planeta, formándose así nuevas masas de hielo; de esta manera, teóricamente al menos, podría llegarse al punto en que la Tierra entera se convertiría en una bola de nieve. Pero esto no ocurre..... ¿por qué?

Rangos de Albedo para distintas superficies terrestres	
Superficie	Albedo (%)
Nieve fresca o hielo	80 - 90
Nubes gruesas	70 - 90
Nubes delgadas	25 - 30
Desiertos de arena	30 - 50
Suelo terrestre sin vegetación	5 - 30
Bosques (promedio)	5 - 10
Pastizales	20 - 25
Tundra	15 - 35
Océanos (sol cerca del horizonte)	50 - 80
Océanos (sol cerca del cenit)	3 - 5
Tierra y atmósfera global	30

Tabla 2.4 Rangos de Albedo para distintas superficies terrestres

El vapor de agua

La mayor temperatura en la superficie provoca más evaporación de las aguas superficiales. Al incrementarse la cantidad de vapor de agua (GEI) se tiende a cerrar la ventana de radiación lo que provoca que esta radiación quede atrapada en la atmósfera y que aumente la temperatura de superficie. Sin embargo, pese a ser una retroalimentación positiva no dispara un cambio climático “eterno”, ya que una vez que la ventana de radiación se “cierra”, cualquier aumento en la cantidad de vapor no va a tener efecto adicional sobre esta retroalimentación, dado que la ventana ya está cerrada. En este caso se dispara un mecanismo de retroalimentación negativa, es decir, al cerrarse la ventana de radiación disminuirá el vapor de agua en la atmósfera, y esto provocará nuevamente la apertura de “ventana de radiación” estableciéndose un nuevo equilibrio.

La formación de hielo y nieve también constituyen una retroalimentación positiva, ya que cuando la superficie terrestre se enfría hay menos derretimiento de hielo y nieve, y a medida que la cobertura de hielo y nieve se extiende, aumenta la proporción de radiación reflejada y e intensifica el enfriamiento por variación del albedo.

Retroalimentación de las nubes

Es difícil determinar el efecto de las nubes en el mantenimiento del balance energético, debido a que algunos tipos de nubes son eficaces en la absorción de radiación infrarroja y por tanto, ejercen un gran efecto invernadero, mientras que otro tipo de nubes son muy eficaces reflejando hacia el espacio la radiación solar entrante, acción que produce enfriamiento de la Tierra. Por lo tanto es difícil establecer si el circuito de retroalimentación de las nubes es positivo o negativo, ya que un cambio en cualquiera de los aspectos de las nubes, como el tipo, ubicación, contenido de agua, altitud, tamaño y forma de las partículas o duración, afecta el grado en que las nubes calientan o enfrían la Tierra (IPCC, 2007). El ciclo que se plantea es el siguiente: al aumentar la temperatura aumenta la evaporación, esto hace que haya mayor disponibilidad de vapor de agua para la formación de nubes. El tema es que dependiendo del tipo de nubes que se formen tendremos diferentes respuestas.

¿Qué tipo de nubes?

Cúmulus: Son nubes altas compuestas por agua y vapor de agua, con muy poco efecto albedo y presentan retroalimentación positiva al efecto invernadero, por lo favorecen el incremento de la temperatura o sea el calentamiento.

Stratos: Son nubes bajas con alto albedo, por lo producen efecto de enfriamiento, y presentan retroalimentación negativa al efecto invernadero, o sea que favorecen el descenso de la temperatura: enfriamiento.

Retroalimentación de la vegetación en función de la precipitación

La participación humana en la cobertura del suelo a través de los distintos usos que se realizan, especialmente para la agricultura ha alterado un importante factor de forzamiento radiativo: la relación Bosque/Pasturas. La vegetación recicla agua a la atmósfera a través de la transpiración. Los árboles del bosque transpiran más que las pasturas, y envían a la atmósfera cantidades importantes de vapor de agua. La mayor disponibilidad de vapor de agua en la atmósfera produce un aumento de las precipitaciones, que facilitan la permanencia del bosque. Se trata de un circuito de retroalimentación positiva: Hay bosque = llueve más = favorece la existencia del bosque

Si disminuye la transpiración también disminuirán las precipitaciones, y ante estas nuevas circunstancias ambientales las pasturas reemplazarán al bosque. Instaladas las pasturas habrá menor evaporación, menor precipitación y se fa-

vorecerá la permanencia de las pasturas por sobre el bosque, instalándose un nuevo circuito de retroalimentación positiva que favorece la permanencia de las gramíneas.

El ciclo entonces se puede resumir de la siguiente manera:

Si aumenta la evaporación se produce un incremento de las precipitaciones entonces el bosque reemplaza a las pasturas y se incrementa la evaporación que incrementa las precipitaciones que favorecen la permanencia del bosque que...

Contrariamente, si disminuye la evaporación disminuyen las precipitaciones, entonces las pasturas reemplazan al bosque, y como las pasturas transpiran menos que los árboles disminuirá la evaporación y las precipitaciones y se favorecerá la permanencia de las pasturas que transpiran menos y...

Influencia de la Vegetación

Un equipo del Instituto Climatológico de Postdam (Alemania) encabezado por el Prof. Martín Claussen publicó en 1999 una investigación sobre la importancia de la vegetación en el cambio climático, aportando pruebas sobre cómo un vuelco repentino del clima podría transformar vastas extensiones de pastizales volviéndolas tierras áridas. Estudiando la tesis de Milankovitch sobre cómo fenómenos sutiles, tales como las variaciones en la órbita de la Tierra podrían generar cambios climáticos radicales, incluyeron en un modelo informático complejo las interacciones entre tierra, mar y atmósfera y determinaron que durante los últimos 9.000 años, la atracción de los planetas modificó la inclinación del eje de la Tierra en medio grado aprox. y alejó en unos cinco meses el momento en que ésta se encuentra más cerca del Sol. En sí mismos, estos cambios tan limitados no debieron haber tenido efectos climáticos importantes. Pero cuando Claussen y sus colegas incluyeron en su modelo informático el efecto de la cobertura vegetal del suelo, ocurrió algo inesperado: la disminución de la cubierta vegetal provocaba una marcada disminución de las precipitaciones sobre la región del Sahara. Se puso en evidencia un mecanismo de retroalimentación positiva del sistema climático: una leve disminución de la vegetación permite que la superficie del suelo refleje un poco mejor la luz solar, lo que disminuye la pluviosidad y reduce aún más la vegetación.

Hace unos 8000 años gran parte del área actualmente desértica del Sahara era aún una fértil sabana, o pastizal húmedo, según lo atestiguan abundantes pinturas rupestres sobre una fauna prehistórica relacionada con ambientes acuáticos, como cocodrilos e hipopótamos, así como también grupos de cazadores persiguiendo grandes animales, ubicadas en regiones que hoy son rocosas e inhóspitas. Asimismo los

cocodrilos del oasis del Ennedi¹⁷ constituyen una prueba de que este desierto otrora se encontraba surcado por grandes ríos de los cuales han quedado sólo los paleocauces, señalando que algunos desembocaban en el Nilo y otros en el mar Mediterráneo. Estos paleocauces quizás hayan sido una vía de dispersión de nuestra especie (homo sapiens) hacia la cuenca mediterránea. A raíz de estas investigaciones se supone que el desierto del Sahara ha tenido cada 20.000 años importantes oscilaciones climáticas, entre periodos húmedos en los que predomina un bioma de sabana e incluso de selvas, alternados con otros de extrema aridez como el presente, como consecuencia de dos factores relacionados entre sí: ligeras inclinaciones del eje terrestre y bruscos cambios en la cobertura vegetal.

Retroalimentación de la vegetación en función del albedo. Caso de la Tundra y el Bosque

El tipo de vegetación dominante en una región no sólo determina la cantidad de agua disponible en la atmósfera, sino que también influye en el albedo para esa superficie ya que distintos tipos de vegetación poseen diferente albedo, por lo que al variar el tipo de cobertura vegetal se generan variaciones importantes de la temperatura debido a la variación de la energía radiada. Por otra parte la existencia de un tipo de bioma u otro depende fundamentalmente del clima predominante, o sea que al variar las condiciones climáticas se produce la variación del tipo de bioma. Este caso es el que ocurre en las zonas circumpolares donde se evidencia este equilibrio dinámico entre dos biomas condicionados por la temperatura reinante: la tundra y el bosque, ambos con albedos diferentes, mayor para la tundra y menor para el bosque. Al ocurrir un enfriamiento de la atmósfera, la tundra avanza sobre el bosque, y dado que la tundra tiene mayor albedo que el bosque se produce un mayor enfriamiento. Pero si se eleva la temperatura, el bosque avanza sobre la tundra entonces disminuye el albedo y se promoverá el calentamiento. Se trata de un ciclo positivo de realimentación. En las zonas donde coexisten el bosque y la tundra, ambos tipos de cobertura interactúan entre sí promoviendo un equilibrio dinámico en relación a las superficies ocupadas por cada tipo de cobertura.

17 Ennedi se encuentra en la República del Chad

Otro factor y un acoplamiento casi perfecto: la correa oceánica

Wallace Broecker, de la Universidad de Columbia destacó la importancia de una característica específica de los océanos de la Tierra: su sistema de circulación. Las corrientes oceánicas transportan calor por el planeta como una inmensa correa de transmisión. En el Atlántico, la corriente cálida que parte del Golfo de México avanza hacia el Norte y transmite a su paso calor al aire por evaporación. Sus aguas se tornan progresivamente más frías, más saladas y más densas hasta el momento en que, cerca de Islandia, se vuelven tan pesadas que se hunden e inician un largo viaje hacia el sur a través de los fondos oceánicos. Broecker comprendió que este proceso complejo y delicado –que denominó “la Correa”– tenía una participación central en el cambio climático del planeta, ya que cambios mínimos podrían generar efectos muy amplificadas. Con principios físicos sencillos y sin tener que alterar la masa total de los océanos, el modelo de la correa permite explicar cómo un cambio mínimo de temperatura podría bastar para modificar el comportamiento de las corrientes marinas y desencadenar cambios climáticos rápidos y radicales en el clima a nivel global.

Reflexión final

La comprensión profunda de los mecanismos y factores que inciden sistema climático y su sensibilidad respecto de los distintos forzantes climáticos es hoy más completa y profunda que nunca antes. Una característica de las recientes investigaciones sobre cambio climático es la amplitud de las observaciones disponibles para los diversos componentes del sistema climático. Las observaciones adicionales y los nuevos análisis han ampliado nuestra comprensión y permitido la reducción de muchas incertidumbres. Toda esta nueva información parece corroborar que ciertos modos de producción y de subsistencia de la especie humana tienen un impacto nunca visto sobre clima del planeta en su conjunto. ¿Tiene la especie humana capacidad para modificar sus estilos de vida y así vivir más amigablemente en el planeta? Creemos que sí.



CAPÍTULO III

La historia cambiante de nuestro clima

Pablo Torres

Corría el año 982 de nuestra Era, cuando un joven vikingo de nombre Erik y apodado “El Rojo”, habitante de la inhóspita Islandia, discutió y mató a su vecino. La pena que se le impuso fueron tres largos años de destierro. Con su familia se dirigió por mar y recaló en un fiordo, de un territorio mucho más inhóspito aún. Allí fundó una colonia llamada Brattahlid y bautizó a estas tierras Groenlandia (que significa “tierras verdes”). Esta enorme isla, de unos dos millones de kilómetros cuadrados, (casi la superficie continental Argentina), se encontraba cubierta totalmente de hielo, excepto en unos escasos 90.000 km², en la franja costera del sur. Durante el siglo X, las condiciones climáticas de la región eran muy diferentes a las de la actualidad, hecho que propició la emergencia de vastas zonas “verdes” que fueron aprovechadas por los vikingos para instalar sus colonias. Ésta y otras poblaciones, instaladas unos años más tarde, vivieron su momento de esplendor por casi 400 años. Durante ese lapso las tierras groenlandesas y el clima reinante permitieron el desarrollo de cultivos y la cría de ganado pero, a mediados del siglo XIV las cosas comenzaron a cambiar; los veranos se hicieron cada vez más cortos y los inviernos más crudos, la intensa nieve que se acumulaba durante la estación fría no se derretía durante la estación cálida y el hielo comenzó a avanzar sobre las escasas tierras cultivables, haciendo desaparecer la vegetación y con ello al ganado. Los pocos colonos que resistieron, se encontraban famélicos y las colonias fueron abandonadas de a poco para finalmente desaparecer. ¿Qué sucedió con el clima que selló el destino de los vikingos groenlandeses?

Hoy sabemos que durante la Edad Media nuestro planeta sufrió un repentino enfriamiento denominado pequeña “*Edad de hielo*”, es decir, un “breve” cambio climático. Cabría entonces preguntarnos si ¿el clima es una constante inalterable o sufre cambios sustanciales a lo largo de la historia? Hoy también sabemos que el clima, tal cual lo conocemos en la actualidad es, en realidad, sólo una coyuntura, y que estas condiciones actuales no durarán mucho tiempo, ya que la naturaleza, inexorablemente, irá transformándolo.

En busca de la magnitud del tiempo geológico

Antes de incursionar en la historia climática de la Tierra, debemos internalizar y conceptualizar la magnitud del tiempo transcurrido desde que se formó nuestro planeta hasta el presente, y para ello comenzaremos con una pregunta de tinte personal. ¿Cuántos años tiene usted? Sin temor a equivocarnos, podemos afirmar que el cálculo mental que hizo ante este simple cuestionamiento, lo realizó en años, aunque también lo podría haber hecho en meses, días, horas, minutos e incluso segundos. Probablemente resultaría incomprensible para el interlocutor entender cuán corta o larga ha sido su vida, si su edad no fuese expresada en años.

Con la magnitud del tiempo geológico nos ocurre algo similar, el lapso transcurrido desde que se originó nuestro planeta es tan inmensamente grande, que cuando hablamos de 10, 100 o 1000 millones de años, las cifras nos resultan tan lejanas que se nos presentan totalmente inconmensurables. Además nos encontramos con el problema de la relatividad temporal que construimos y que tenemos asociada a nuestra propia existencia. Esto quiere decir que desde el punto de vista humano, 1 millón o 100 millones de años es muchísimo tiempo. Es por ello, que ambas cifras se nos igualan y aunque sepamos que son magnitudes temporales muy distintas, se nos presentan mentalmente iguales. Entonces, ¿cómo podemos dimensionar dicha escala temporal? Mencionaremos un ejemplo que nos ayudará a entender de qué estamos hablando. Recientemente se halló un planeta extrasolar con características similares al nuestro. Gliese 581g (así fue bautizado). Es un “vecino” estelar, porque se halla a tan sólo 20 años luz del Sol. En principio podría parecer una distancia relativamente cercana, pero cuando la trasladamos a un hecho cotidiano, se nos descubre toda la inmensidad que representa, pues para llegar hasta él con la nave más rápida construida por el ser humano, deberíamos viajar aproximadamente 300.000 años.

Entonces, para dimensionar el tiempo geológico debemos tener en cuenta una referenciación y para ello podemos usar escalas análogas. Por ejemplo, podemos transformar el tiempo en metros usando la escala $1\text{m}=10.000$ años. En este caso, para llegar a los comienzos de la Era Paleozoica y ver la aparición de la biodiversidad continental, deberíamos recorrer 54 km, pero para llegar a observar los días en que la Tierra comenzaba a formarse deberíamos transitar unos 400 kilómetros más.

Otra escala referencial se puede obtener a partir de transformar los segundos en años. Si hipotéticamente viajáramos al pasado a razón de un año por cada segundo que transcurre, necesitaríamos 146 años para llegar al primer día de la Tierra.

Es por ello que para poder estudiar la historia de nuestro planeta, los Geólogos la han dividido en grandes lapsos cuya duración no es fija, sino variable y depende de ciertos acontecimientos relativamente trascendentes de la biología y la geología terrestre. Así fue como la dividieron en Eones, Eras, Períodos, Épocas y Edades.

En los albores de nuestro planeta

Un viaje en el tiempo

La historia terrestre y particularmente la de su clima, ha tenido estrepitosas fluctuaciones y cambios. Las variables climáticas en las que ha sobrevivido nuestra especie y que generalmente consideramos estables, son sólo un "fotograma" dentro de un gran "largometraje". Si pudiéramos viajar más de 600 millones de años atrás, nos encontraríamos con un mundo totalmente irreconocible. Es por eso que le proponemos al lector un pequeño ejercicio mental. Empezaremos un viaje al pasado en el cual podremos ir observando las condiciones climáticas que se fueron desarrollando durante su larga existencia.

La Tierra tiene aproximadamente 4600 millones de años, pero durante la mayor parte de su "vida", fue un planeta con condiciones físicas totalmente diferentes a las que presenta actualmente. Desde que se formó, hasta hace 570 millones de años, el paisaje terrestre podría confundirse con uno extraterrestre; a este lapso, que abarca más de 4000 millones de años, se lo conoce como los Tiempos Precámbricos. El 86 por ciento de la historia terrestre se encuentra dentro él. Los últimos 570 millones de años pertenecen al Eón Fanerozoico y dentro de él se

encuentran comprendidas las conocidas Eras geológicas: Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica. Si nuestro viaje al pasado mantuviese una marcha continua, y como los Tiempos Precámbricos abarcan casi toda la historia de nuestro mundo, estaríamos obligados a enfocar la mayor parte del capítulo en ese lapso, pero no lo haremos por dos motivos: en primer lugar, en la medida que nos alejamos del presente los conocimientos que la ciencia puede lograr desentrañar se hacen cada vez más difusos y por lo tanto, la información que tenemos del pasado remoto es muy sesgada. En segundo lugar, porque la descripción detallada de este gran período no es relevante para los objetivos de esta publicación.

Desde hace ya varias décadas se cree, que la Tierra y nuestro Sistema Solar se formaron a partir de una masa gaseosa en rotación que dio origen a la estrella amarilla que llamamos Sol. Esa masa gaseosa comenzó a condensarse y a contraerse por efecto gravitatorio, y es así como gran parte del material sólido de la nube primigenia se concentró en su centro. En este proceso se generaron temperaturas tan altas que permitieron la fusión de los primitivos átomos de hidrógeno en helio y esto permitió “encender el motor” de nuestra estrella. Pero una pequeña porción de los materiales sólidos de la originaria nube estelar se acomodaron en un plano perpendicular al eje de rotación, y generaron más tarde los planetas y todos los cuerpos sólidos del sistema. Es decir que los planetas y el resto de los cuerpos del Sistema Solar se formaron también a partir esta nebulosa gaseosa (teoría conocida como “*nebulosa solar*”). Los pequeños cuerpos sólidos que no fueron “engullidos” por nuestra estrella, fueron colisionando entre sí formando rocas de tamaños tan variables que iban desde el de una lenteja, hasta el de una montaña (llamados planetesimales); las intensas colisiones entre ellos, dieron lugar a la formación de rocas de miles de kilómetros que, por efecto gravitacional, fueron formando los protoplanetas y luego los planetas. Esto es conocido como efecto de acreción “*que no es más que la captura de los polvos aglutinados en pequeñas entidades sólidas de algunos kilómetros de diámetro*” (Acot, 2005). Así la primitiva Tierra comenzó a aumentar de tamaño, dejando los elementos más pesados en su interior y los más livianos en su superficie y en su incipiente atmósfera.

La débil atmósfera primitiva

Se cree que después de solidificarse la corteza (hace unos 4200 millones de años), los procesos geológicos internos de nuestro planeta formaron una débil y delgada capa gaseosa. Esta primitiva envoltura gaseosa estaba compuesta casi exclusivamente de hidrógeno y helio, que eran los elementos que también cons-

tituían la nebulosa solar. En los primeros 300 o 400 millones de años desde su formación, nuestro mundo no pudo retener la mayor parte de estos elementos livianos pero, al mismo tiempo, gases con elementos más complejos comenzaron a surgir del interior de la corteza, así esta “pequeña roca” llamada Tierra fue reemplazado y compensando las pérdidas de los gases más livianos. En esos momentos nuestro orbe era un páramo irreconocible, con muy pocas masas continentales y un gran océano caliente rodeándolos. La atmósfera era extremadamente tenue y delgada, con escaso oxígeno y sin capa de ozono. En tales condiciones, la vida, tal como la conocemos ahora, nunca podría haberse desarrollado.

Un golpe de suerte

Fue durante esa época, en que nuestro irreconocible mundo recibió el mayor impacto espacial de toda su historia. Imprevistamente un gran cuerpo celeste, del tamaño del planeta Marte, colisionó con la joven Tierra. Este inusual suceso borró por completo la atmósfera primitiva, generó un inmenso núcleo férreo y por último originó nuestra Luna. Este hecho de magnitudes catastróficas, fue el primer eslabón de una serie de acontecimientos fortuitos que concluirán en la generación de un planeta que reunió las condiciones necesarias para que miles de millones de años más tarde el ser humano pudiese encontrar un ambiente propicio para su evolución y desarrollo. El contar con una luna del tamaño de la nuestra, fue un factor determinante para que el clima terrestre se encaminara a una relativa estabilidad¹; porque gracias a la presencia de nuestro satélite natural, la precesión² terrestre se mantuvo en los valores actuales. Sin el aporte de la fuerza gravitatoria que ejerce la Luna, los “cabeceos” que describe esta rotación serían más pronunciados, generando que determinadas regiones pasasen cíclicamente del calor extremo al frío polar y viceversa.

Por otra parte, la fuerza gravitatoria lunar produjo una desaceleración de la rotación terrestre, haciendo que los días de 12 horas, pasasen a ser de 24. Aunque

1N del A: El lector podrá pensar que el autor incurrió en una contradicción, pues hablamos de relativa estabilidad habiendo dicho previamente que la Tierra sufrió numerosos cambios climáticos. Ocurre que de no haberse formado nuestro satélite los cambios en el clima se hubiesen presentado con más celeridad y con mayores contrastes.

2 Nuestro planeta tiene un movimiento imperceptible en una vida humana pero que genera cambios climáticos en el corto plazo. La Tierra al rotar se asemeja a un trompo en movimiento que se está desacelerando, al hacerlo describe un bamboleo a lo largo de 26.000 años que hace que el eje dibuje un cono en el espacio. A este movimiento se lo conoce como precesión o precesión de los equinoccios.

la duración del día parezca un detalle menor, en realidad no lo es. En una Tierra con el doble de la velocidad de rotación se producirían tormentas muchísimo más fuertes y la circulación atmosférica no se parecería en nada a la actual. Las franjas desérticas de los 30º de latitud Norte y Sur y la franja selvática ecuatorial, ambas dependientes de la velocidad de rotación, se hallarían posiblemente en otras latitudes.

Otro factor determinante es el núcleo gigante terrestre, producto del choque planetario anteriormente mencionado, ya que proporcionó a nuestro planeta de un campo magnético que nos mantiene a salvo de las dañinas emisiones solares conocidas como *viento solar*³. Sin este invisible escudo protector que nos rodea, la vida, probablemente, tampoco podría haberse desarrollado.

La historia de los “viejos” tiempos, la Tierra caliente

Durante los primeros 2300 millones de años la Tierra no soportó glaciaciones, a pesar de que el Sol, durante ese lapso, irradiaba menos calor que ahora (un 25% menos). ¿Cómo fue posible que nuestro mundo no se congelara durante todo este tiempo? La única explicación viable hay que buscarla en la composición atmosférica. Durante la primera mitad del Precámbrico las concentraciones de oxígeno eran todavía muy bajas, pero las capas inferiores de nuestra atmósfera contenían grandes cantidades de vapor de agua y CO₂, dos potentes gases de efecto invernadero. Gran parte del vapor de agua se convertía, por condensación, en el agua líquida, la cual comenzó a llenar los primitivos mares y, de esta manera, parte de él (del vapor de agua) era removido de la atmósfera. Pero con el CO₂ no ocurría lo mismo, éste permaneció y se acumuló ininterrumpidamente en el aire sin que casi nada pudiera extraerlo. La antigua atmósfera llegó a contener unas 100 veces más dióxido de carbono que en la actualidad, alcanzando temperaturas medias de hasta 60°C, (recordemos que la temperatura media global actual es de tan solo 15°C). Con estas concentraciones de CO₂ la Tierra iba camino a convertirse en una réplica del planeta Venus. Y aquí surge otro interrogante. ¿Cuál fue el origen de tanto dióxido de carbono?

3 Se denomina viento solar al flujo de partículas expulsadas de la atmósfera solar compuestas de electrones y protones de helio e hidrógeno generados en las explosiones nucleares que ocurren en su centro. Aunque son invisibles, se pueden apreciar sus efectos cuando penetran la alta atmósfera y forman las auroras polares. Son altamente peligrosas para la vida en la Tierra.

Durante casi todo el Precámbrico la actividad volcánica fue una constante. El estudio de antiguas estructuras geológicas da cuenta de que la actividad tectónica, artífice de las manifestaciones volcánicas, se encontraba presente desde los orígenes de nuestro planeta. La dinámica que genera el calor interno de la Tierra, y que se manifiesta a través de la tectónica de placas, proporcionó la expulsión de gases de invernadero a través de las erupciones volcánicas, entre ellos el dióxido de carbono. Además, en los primeros 1000 millones de años de la formación del Sistema Solar, los impactos de meteoritos eran una constante en todos los planetas y satélites recientemente formados. En el nuestro, con cada colisión se liberaban incalculables toneladas de dióxido de carbono de las primeras capas de la superficie. De este modo, la intensa actividad meteórica colaboró en gran medida en la acumulación de este potente gas de efecto invernadero. En estas condiciones, el CO_2 se fue acumulando durante cientos de millones de años, hasta alcanzar una concentración que convirtió a nuestro planeta en un verdadero “horno”.

El desbalance del ciclo del carbono

Para entender cómo y por qué el dióxido de carbono se ha acumulado y se ha retirado de la atmósfera en repetidas veces debemos explicar cómo funciona el balance del carbono en nuestro planeta.

Este gas de invernadero, que en la actualidad se encuentra en muy bajas concentraciones⁴, es generado por la naturaleza de dos maneras: Por un lado a través de las manifestaciones volcánicas y por otro, en muchísima menor proporción, por la acción de los seres vivos al respirar. Pero la naturaleza también “se las arregla” para eliminar el CO_2 generado y lo hace también de dos formas. En la primera de ellas, las rocas con silicatos (que son las más comunes de la superficie terrestre) son expuestas a la meteorización⁵ y son alteradas químicamente por el agua de lluvia. El mecanismo es el siguiente: el CO_2 que se encuentra en el aire se disuelve fácilmente en agua (en las diminutas gotitas de agua que formarán la

4 Para tener una idea de cuánto CO_2 hay en la actualidad podemos usar la siguiente analogía. Si llenamos una botella grande de gaseosa con arena que represente los gases de la atmósfera, sólo 37 granos de arena de la botella se corresponden al CO_2 actual, pero en la atmósfera del precámbrico la cantidad de CO_2 se debería representar con 3700 granos de arena, equivalente aproximadamente a una tapa de gaseosa llena de arena.

5 Se denomina meteorización al proceso por el cual las rocas de la superficie o cerca de ella, se fragmentan o se alteran (se descomponen) a través de los agentes naturales propios de la meteorización (agua, hielo, viento, etc.)

lluvia) y forma ácido carbónico; el ácido carbónico, que es llevado hasta la superficie continental por el agua de lluvia, en contacto con las rocas de silicatos produce una alteración química, formándose iones de bicarbonato que, disueltos en el agua de escorrentía, llegan al mar y allí son asimilados por algunos seres vivos que lo utilizan para formar sus conchas. De esta manera la roca alterada químicamente puede generar un proceso que hace remover parte del CO_2 de la atmósfera.

El segundo mecanismo se relaciona con la tectónica de placas, de la cual hablaremos más adelante, y tiene que ver con la incorporación de estas rocas meteorizadas, que previamente habían sido transportadas al océano, al interior terrestre (más precisamente al manto). Tengamos presente que los dos procesos son parte de uno mismo y que todo lo explicado aquí se realiza en una escala temporal de varios millones de años.

Volvamos a situarnos en los primeros 2300 millones de años de nuestro planeta (durante el Precámbrico). Como todavía no existían los seres vivos que podían usar el CO_2 del agua para construir sus conchillas y las masas de tierra emergidas eran muy inferiores a las de la actualidad (por lo tanto la alteración de las rocas era muy poca) siempre era más el CO_2 aportado a la atmósfera por el volcanismo⁶ que el removido, esto quiere decir que el balance del carbono estaba desproporcionalmente más inclinado hacia la emisión, que a la remoción.

El planeta “bola de nieve”

Durante la primera mitad del precámbrico la vida en la Tierra ya había surgido. Se han hallado algunas rocas de más de 3800 millones de años que presentan signos de actividad biológica. Una vez que la vida se hizo presente, la relación entre ésta y nuestra atmósfera quedó estrechamente unida para siempre. Primero las células procariotas y luego las eucariotas comenzaron a incidir sobre la atmósfera y se encargaron de generar su aporte para poder ir modificando el clima. Como ya fue mencionado, la Tierra se encontraba en camino a convertirse en un planeta similar a Venus, es decir, un mundo donde las temperaturas superficiales por incremento de los gases de invernadero pueden llegar hasta los 500°C . Pero en nuestro planeta se revirtió el proceso. El desarrollo de las células eucariotas hizo su parte. Éstas comenzaron a utilizar y fijar el abundante dióxido de carbono presente hasta ese momento y a oxigenar a la atmósfera; pero además, ocurrió

⁶ Además el volcanismo de esa época era más intenso que en la actualidad.

un acontecimiento geológico extraordinario. Grandes cordilleras⁷ se elevaron en casi todas las masas continentales, alcanzando alturas insólitas hasta entonces y dejaron al descubierto grandes volúmenes de rocas, que en contacto con el agua de lluvia y por alteración química, también colaboraron en la remoción del CO₂. Por último los continentes o casi todos, se reunieron en zonas de latitudes bajas y, este simple hecho, hizo que las masas continentales requiriesen más dióxido de carbono de la atmósfera durante el proceso de alteración química (aclaremos que las rocas se alteran químicamente con mayor eficacia en climas húmedos y tropicales que en climas fríos y secos). De esta manera, lentamente, el planeta Tierra comenzó a enfriarse. Tanto lo hizo que el hielo llegó a cubrir todo el globo⁸. Ahora, la “tercera roca” del Sistema Solar se parecía más a Europa⁹ que a cualquier otro cuerpo celeste. A este acontecimiento se lo conoce como la “teoría de la bola de nieve”. Otro planeta congelado y sin gases de invernadero (o con muy poco de ellos) en el aire, jamás podría haberse descongelado. Además, en este estado (con la superficie congelada), la Tierra reflejaba al espacio casi toda la luz y el calor que ingresaba en él. Esta propiedad de los cuerpos celestes que se denomina albedo¹⁰; es decir, el porcentaje de radiación que reflejaba hacia el espacio, potenció aún más el enfriamiento. ¿Por qué ocurre esto? Mientras más oscura es una superficie (como por ejemplo un campo de cenizas volcánicas) menor será el porcentaje de radiación reflejada y mayor la conservada, y la zona en cuestión, tenderá a calentarse cada vez más. En cambio, mientras más clara sea una superficie (por ejemplo un campo de hielo), mayor será el porcentaje de radiación reflejado y menor el conservado, con lo que la zona tenderá a enfriarse aún más. Esto es lo que ocurría en una Tierra totalmente cubierta de hielo: muy poca radiación solar permanecía dentro de nuestra atmósfera

Pero ¿Qué fue lo que hizo que la Tierra se descongele? Es muy probablemen-

7 Restos de esas enormes cordilleras las encontramos en nuestro país en la provincia de Córdoba (en las Sierras pampeanas), en Buenos Aires (en Tandil y Balcarce) y en el resto del mundo, en los Apalaches norteamericanos y en los Montes Escandinavos.

8 Algunos científicos no están de acuerdo en que la Tierra se halla congelado por completo, es decir que una masa de hielo cubriera los mares y los continentes desde las regiones polares hasta la franja ecuatorial. Pero sí coinciden que la Tierra se enfrió como nunca lo había hecho hasta ese entonces.

9 Satélite joviano cuya superficie se encuentra íntegramente cubierta por una gruesa capa de hielo y por debajo de él se especula que existe un gran océano de agua líquida.

10 El albedo terrestre en la actualidad es de 31% en cambio el de nuestra vecina Marte es del 15%, la poca presencia de hielo, la ausencia de océanos y la escasez de nubes sobre la superficie y la atmósfera marcia-na explican el bajo albedo que éste presenta.

te que la tectónica de placas. La dinámica geológica del interior terrestre siguió funcionando incluso con una Tierra congelada. El volcanismo siguió tan activo como en los comienzos del planeta y como los volcanes emiten grandes cantidades de dióxido de carbono, éste se pudo haber ido acumulando nuevamente en la atmósfera (al atravesar las grietas del hielo), y al mismo tiempo, no podía ser removido de ella porque con una superficie cubierta de hielo la alteración rocosa no se podía realizar (recordemos que la alteración química de las rocas es un proceso importantísimo en la remoción del CO₂). De esta manera, muy lentamente, la Tierra volvió a transformarse en un planeta caliente.

La vida, aliada inseparable del clima

Si continuamos con nuestro hipotético viaje en el tiempo, nos encontramos ya en los comienzos de la Era Paleozoica (a unos 540 millones de años del presente), en los inicios del Eón Fanerozoico, nuestro Eón. Es recién en este punto de la historia en que podemos ver a un planeta que se asemeja mucho al que habitamos. Encontramos una gran biodiversidad que no se circunscribe sólo a los océanos, sino que también se extiende por los continentes, que para esta época ya cubrían aproximadamente el 30% de la superficie del globo, casi como ahora. Las masas continentales estaban en camino de reunirse por sexta vez¹¹ en un supercontinente llamado Pangea¹². La composición de la atmósfera era bastante similar a la actual, con un 21% de oxígeno y un 78% de nitrógeno, aunque con un poco más de dióxido de carbono y, la temperatura global, era unos cinco grados mayor que en nuestros tiempos. La capa de ozono estratosférica ya se había hecho presente, situación que permitió que la vida pudiera desarrollarse plenamente en las superficies emergidas. Los grandes bosques llenaron las inhóspitas llanuras y una vegetación exuberante pudo crecer en casi cualquier lugar.

Es en estos tiempos cuando el binomio vida/clima se hizo aún más evidente; vida que va a experimentar varios eventos de extinciones masivas. Hagamos una

11 Algunos autores creen que fueron más veces

12 Los continentes de la Tierra, gracias a la tectónica de placas, se separaron y unieron muchas veces, cada una de estas reuniones continentales han sido denominadas con distintos nombres, Vaalbará, Ur, Nena, Columbia, Rodinia y Pangea o también se los conoce como Pangea I, II, III, IV, V y VI. Más allá del nombre que reciban, el proceso de unión y desunión de las masas emergidas de la Tierra parece ser una constante y seguirá realizándose mientras la dinámica del interior se siga produciendo. También queremos destacar que la fragmentación de Pangea que se suele ver en programas de divulgación corresponde a la última separación ocurrida hace menos de 300 millones de años.

aclaración en este punto. Durante casi toda la historia de la vida en la Tierra las extinciones de distintas especies fueron una constante, algunas formas biológicas pudieron sobrevivir varios millones de años, y otras en cambio, breves periodos de tiempo. Como ya dijimos, nuestro planeta no es un mundo inmutable, cada cambio que en él se produce da lugar a que unas especies sean seleccionadas y otras desaparezcan. Si recurrimos al estudio de los fósiles e intentamos descifrar la biodiversidad que actualmente nos rodea, podemos deducir que desde el origen de la vida hasta la actualidad, los organismos fueron experimentando modificaciones sobre las que actuó la selección natural. En ocasiones sucede que la extinción de algunas especies da lugar a la aparición de otras nuevas (presentan características diferentes a las que les dieron origen). Esto se debe a que los organismos seleccionados pueden sobrevivir frente a las nuevas condiciones que presenta el ambiente. En la mayoría de los casos esos cambios son lentos y progresivos, pero en ocasiones, son bruscos y extremos, Cuando esto ocurre pueden llevarse consigo la existencia de cientos de miles de especies de animales y vegetales. A estos tipos de acontecimientos se los denomina *extinciones masivas*.

Al momento se han contabilizado cinco en total. La mayoría de ellas se debieron a cambios abruptos del clima, atribuibles a eventos extraordinarios, como el impacto de meteoritos contra la superficie terrestre y/o por emanaciones volcánicas extraordinarias. Nos detendremos en sólo dos de ellas.

El mar de la muerte

Hace aproximadamente 444 millones de años durante la Era Paleozoica, exactamente entre el final del Período Ordovícico y el comienzo del Silúrico se produjo una gran extinción en masa que extinguió casi toda la vida marina (los continentes estaban prácticamente deshabitados). Las causas de dicha extinción no hay que buscarlas en el cielo sino en el mismo mar. Durante un período relativamente pequeño en la escala geológica, los mares del globo, que llegaron a tener una cota¹³ muchísimo más alta que en la actualidad, retrocedieron de manera significativa, el retroceso marino puso en marcha una de las extinciones masivas más grandes de la historia de la Tierra pues al disminuir el nivel del mar se produjeron cambios radicales en las corrientes marinas que dispararon cambios en la composición química de las aguas y en la distribución de los nutrientes.

13 Cota: Altura de un punto sobre un plano horizontal de referencia

Las disminuciones abruptas de los mares tienen dos explicaciones plausibles: una puede deberse a un enfriamiento masivo del planeta. En este caso, la evaporación del agua de mar que precipita por condensación en los continentes, si la temperatura es lo suficientemente baja lo hará sobre ellos en forma sólida y la nieve acumulada permanecerá sin fusionarse año tras año e irá quitándole paulatinamente agua al océano y conservándola como hielo en los continentes. Por otro lado, el retroceso del mar puede deberse también a la dinámica geológica del interior terrestre. Imaginemos dos camiones colisionando de frente, literalmente las cabinas de cada uno de ellos se confundirán en una sola y el tamaño de ambos camiones se verá más corto. Cuando dos masas continentales se encuentran ocurre algo similar, las cortezas continentales se fusionan y una se superpone a la otra. De este modo ambas cortezas ocuparán menos lugar dejando más espacio para la parte oceánica. Así el volumen "contenedor" de los océanos se hace más grande y puede albergar más cantidad de agua y, por ende, el nivel del mar desciende (analógicamente podríamos decir que en una olla más grande, la misma cantidad de agua tendrá un nivel más bajo que en una olla más chica).

La muerte llega del cielo. La extinción K/T

La otra gran extinción masiva es quizás la más conocida a nivel popular porque fue reproducida muchas veces por Hollywood en recordadas películas¹⁴ y porque fue la que se presume, acabó con los dinosaurios y que terminó además con más de la mitad de las especies que habitaban los continentes y los mares. Hoy sabemos que en algún momento hace 65 millones de años un meteorito de aproximadamente 10 kilómetros de diámetro (el tamaño de una gran montaña) colisionó en la península de Yucatán, en México, que para ese momento estaba cubierta por un mar tropical. En realidad el impacto en sí mismo no provocó la muerte de tantas especies (aunque de hecho, al momento golpe del bólido estelar, murieron millones de animales y vegetales), lo que verdaderamente produjo la extinción masiva fueron sus consecuencias. Luego del impacto, el polvo en suspensión producto de la colisión, se extendió por todo el globo y redujo drásticamente la entrada de la luz impidiendo la fotosíntesis que inmediatamente eliminó grandes cantidades de especies vegetales y generó un breve enfriamiento global. Pero éste sería solo el comienzo de una serie de acontecimientos que iban a producir luego la extinción de muchísimas especies de plantas y de animales.

14 Por ejemplo "Dinosaurios" de Disney (2000)

El impacto también generó, además del polvo en suspensión, grandes cantidades de CO_2 . Así, mientras el polvo se asentaba y volvía a dejar pasar la luz solar, el dióxido de carbono comenzó a retener el calor que debía escapar al espacio, con lo cual el clima global empezó a marchar hacia las altas temperaturas.

Frío intenso, calor insoportable, estos cambios pendulares de temperatura se produjeron en un muy corto tiempo y como corolario a tamaños desajustes ambientales debemos agregar la irrupción de la lluvia ácida, producto de la combinación de los aerosoles sulfatados que se generaron inmediatamente después del impacto. Muchas especies no pudieron resistir y sucumbieron. Las que no murieron por las bajas temperaturas lo hicieron por las altas, por la constante lluvia ácida o por el rompimiento de la cadena trófica. A esta extinción se la conoce con el nombre K/T para recordar que la misma se produjo entre finales del período Cretácico¹⁵ y el primer período de la Era Cenozoica, el Terciario. Muchos científicos creen que el impacto de un meteorito del tamaño del que colisionó en Yucatán y sus consecuencias, no pueden explicar por sí mismo la muerte de tantas especies. Se especula que junto con este evento se produjo una inusitada manifestación magmática en el subcontinente Indio, en las llanuras del Deccan denominadas *erupciones fisurales*. La lava vertida se derramó por miles de kilómetros cuadrados, alcanzando más de un kilómetro de espesor. Pero no fueron las emanaciones de lava las que generaron las muertes de tantos animales, sino las emisiones de gases de efecto invernadero generadas durante las emisiones fisurales, que combinadas con las manifestaciones del impacto del meteorito dieron el “golpe de gracia” al delicado equilibrio biológico terrestre de entonces.

La extinción K/T nos enseña qué tan vulnerables pueden ser los ecosistemas marinos y terrestres en su relación con el clima y quizás nos ayude a reflexionar sobre el daño que los seres humanos podemos ocasionar con nuestras actividades. La intervención del hombre en la dinámica natural del planeta, aunque diminuta en comparación con la “intervención” de la naturaleza, siempre debería ponernos en alerta.

La Era de Hielo

Luego de la gigante extinción del comienzo del Cenozoico, gran cantidad de nichos ecológicos quedaron libres, situación que favoreció la evolución de los pe-

¹⁵ Se usa la letra K y no la C para identificar al Cretácico para no confundirlo con otros Períodos que comienzan con la letra C

queños mamíferos que, para ese entonces, se refugiaban en largas y estrechas cuevas. Es por este motivo que podríamos decir que los humanos (como todos los demás mamíferos actuales), somos el resultado, en gran medida, de los diversos cambios climáticos que afectaron al ambiente durante este período.

El período terciario del Cenozoico trajo consigo fluctuaciones climáticas que, si bien no generaron extinciones masivas, produjeron cambios considerables en el paisaje terrestre. La temperatura de los últimos 65 millones de años fue bastante cambiante pero sin extremos. Paulatinamente se fue perdiendo el CO₂ como consecuencia de la elevación de grandes masas continentales que formaron enormes cadenas montañosas. Los continentes iban en camino de ocupar el lugar en que se encuentran en la actualidad, pero en ese derrotero los encuentros entre ellos produjeron las más imponentes cordilleras que hoy podemos observar. Los Andes, la cadena del Himalaya, Los Alpes y otras más se erigieron durante esta etapa y aún hoy algunas de ellas siguen elevándose. La alteración química de las nuevas rocas, ahora expuestas al aire, comenzó a extraer el abundante dióxido de carbono del Terciario que paso de 2000 ppm a 200 ppm¹⁶. Paulatinamente nuestro planeta se fue congelando hasta alcanzar su más baja temperatura (hace apenas unos 2.5 millones de años) entrando de este modo en una etapa fría¹⁷ que perdura hasta el presente. Pero ¿Por qué hablamos de etapa fría actual, si comúnmente hacemos referencia a “calentamiento global”? Es indiscutible que la Tierra sufrió un leve aumento de la temperatura promedio en los últimos 150 años y que, según el IPCC (Panel Intergubernamental Contra el Cambio Climático), fue exactamente de unos 0.6° C. Ocurre que, aunque nuestro planeta, probablemente se esté calentando, lo está haciendo dentro de una etapa fría mucho más amplia. La pregunta que deberíamos realizarnos ahora es ¿si este aumento de poco más de 0.6° es producto de las actividades humanas o si la Tierra de todas maneras lo iba a desarrollar independientemente de lo que hiciéramos? Y además, también podríamos preguntarnos, si estamos forzando o aumentando una tendencia natural o si en el largo plazo estamos mitigando un proceso de futuro enfriamiento. Es como si un deportista de elite, que ha ganado muchos eventos, disputara y ganara una carrera y luego se descubriera que corrió con sustancias prohibidas en su

16 Ppm: partes por millón.

17 Cuando hablamos de etapa fría tomamos como referencia los 15° C globales que se registran en la actualidad. Hablar de etapa fría o cálida es en realidad una postura antropocentrista pues consideramos como “normal” la temperatura de la Tierra con la que nos topamos cuando nos “convertimos en hombres modernos” hace unos 10.000 años.

cuerpo. La duda quedaría instalada para siempre: ¿hubiese ganado igual sin ellas?

Pero volvamos al Cenozoico; en los últimos 2.5 millones de años de esta Era, el frío cubrió gran parte del globo extendiéndose los glaciares hasta latitudes medias para, en poco tiempo, retroceder hasta no quedar casi nada de ellos, excepto en las regiones polares. Los vaivenes climáticos parecen haber sido una constante en el último período del Cenozoico, el Cuaternario. El avance y retroceso del hielo se generó cíclicamente en etapas que se conocen como períodos glaciarios¹⁸ e interglaciarios. Las fluctuaciones térmicas de este período parecen estar relacionadas también con cuestiones astronómicas, a las que nos referiremos más adelante. Palmeras creciendo en Alaska y corales en Gran Bretaña fueron remplazadas por mamuts y osos polares en cercanías del trópico y todo en un lapso muy corto.

A pesar de lo cambiante del clima en esta parte de la historia terrestre la tendencia final fue el enfriamiento, que perduró hasta nuestros días. Recordemos que la Tierra, contabilizando todo su historial, es un planeta que podríamos considerar “caliente” y que permaneció casi siempre desprovisto totalmente de hielo, incluso en sus áreas polares. El típico paisaje de lenguas glaciarias bajando por los valles montañosos o un continente cubierto de 5000 metros de hielo como la Antártida es, en realidad, una rareza. Poder ver el rompimiento del glaciar perito Moreno es un hecho realmente fortuito y circunstancial si tomamos en cuenta la evolución climática de nuestro mundo, y esto fue justamente lo que ocurrió en los últimos 2.5 millones de años.

El Cuaternario

No es el objetivo de este capítulo abrumar al lector con nombres de períodos y eras geológicas, pero esta vez sólo le pedimos que recuerde estos dos nombres *Holoceno* y *Pleistoceno* (ver figura 3.1). El primero comenzó hace unos 2.5 millones de años y el segundo hace apenas 115000 años y ambos pertenecen al Cuaternario, uno de los dos Períodos en que se divide la Era Cenozoica. Y hacemos hincapié en estas dos épocas del Cuaternario porque en ellas comienzan a desarrollarse los homínidos y finalmente el hombre moderno, es decir, nosotros.

Durante toda esta etapa, la Tierra se enfrió considerablemente, llegando a acumularse más del doble de hielo en los continentes que en la actualidad. Los continentes durante el Cuaternario se convirtieron en una “Antártida” a gran esca-

18 Dándole a la Tierra el aspecto típico que se puede apreciar en el simpático film de Dreamworks cuyos protagonistas son Sid, Diego, Manny y Scratch.

la. Las causas fueron varias; algunas geológicas, otras hidrológicas, pero posiblemente fueron los factores astronómicos, los que hayan tenido un mayor impacto.

Este lento pero paulatino descenso de la temperatura trajo consecuencias evolutivas en nuestra especie. Hasta poco antes del inicio del Cuaternario por ejemplo, el clima europeo era tan tropical como lo es el africano hoy, en Europa se encontraban los mismos mamíferos que en África; pero cuando la Tierra comenzó a perder calor, en Europa la extinción de muchos mamíferos fue la regla más que la excepción. Los homínidos más antiguos se desarrollaron en el este de África y desde allí comenzaron a extenderse al resto del mundo hace aproximadamente un millón de años, pero con un limitante, el avance de los hielos continentales. A pesar del frío reinante, una especie humana distinta a la nuestra, y que también como nosotros manejaba y construía herramientas y enterraba a sus muertos, se adaptó muy bien a las condiciones glaciarias de Europa y Asia, nos referimos al hombre de Neanderthal (*Homo sapiens nenderthalensis*). Aunque su extinción coincide con las condiciones climáticas más rigurosas que comenzaban a reinar en Europa se cree que su desaparición abrupta hace unos 30000 años no estuvo relacionada con el clima sino más bien con la presencia e "invasión" de otra especie, el *Homo sapiens sapiens*. Aunque se han aducido muchas causas, el fin de nuestra especie más cercana sigue rodeada de muchas incógnitas.

Cuando el frío se hizo más crudo y los hielos avanzaban hacia latitudes más bajas, algunos grupos humanos fueron impulsados a migrar desde Asia, hacia el continente Americano. El paso por el estrecho de Bering pudo hacerse gracias a la disminución del nivel del mar, producto del descenso de temperaturas que registraba nuestro planeta y que hacían que las precipitaciones caídas permanecieran en estado sólido durante todo el año en el continente, quitándole, de este modo, incalculables cantidades de agua al mar. Es interesante pensar cómo, culturas tan ricas y disímiles como los aztecas, los inuit, los incas y los guaraníes, sólo por citar algunos, deben sus orígenes a un hecho climatológico ocurrido hace poco más de 30000 años.

Un "breve" paréntesis, en el "invierno glacial"

Hace aproximadamente 10000 años, la inmensa cubierta de hielo, que ocupaba casi toda Europa y América del Norte, desde los polos hasta los 30º de latitud, comenzó a ceder. En un breve lapso, el enorme casquete glacial retrocedió, dejando impresas las marcas a lo largo de miles de años. En las áreas cordilleranas se formaron valles en forma de letra "U" y, en las costas, la típica forma de "dientes

de serrucho” que encontramos en el sur de Chile y Noruega, llamadas fiordos; en zonas de llanuras, los depósitos de sedimentos que habían sido arrastrados por el glaciar, al desaparecer el hielo que los arrastró, quedaron acumulados y formaron unas especies de colinas alargadas y paralelas entre sí, de unos 50 metros de alto, denominadas *drumlins*. Otras veces, enormes cuencas fueron llenadas con agua dulce proveniente de la fusión del glaciar, formándose ramilletes de lagos como los Grandes Lagos de Norteamérica o los del sur de nuestro país.

Aunque quizá, una de las huellas más evidentes del retroceso de los hielos durante el “veranito” del Pleistoceno, se evidencia en nuestra propia evolución y desarrollo como civilización. El aumento global de la temperatura y por ende, la reducción de esta masa de hielo, dio lugar a que los cereales silvestres se expandieran por toda Europa y Asia, brindando las condiciones para que los pequeños grupos de cazadores y recolectores se convirtiesen en sedentarios agricultores. La revolución del Neolítico había comenzado. Los excedentes alimenticios que ésta generó, permitió que la población humana aumentara considerablemente en muy poco tiempo. Se calcula que en apenas 7000 años (un tiempo realmente escaso para cualquier especie animal), la cantidad de seres humanos creció de 5 a 150 millones. Al poder conservar los granos ya no se dependía únicamente de la caza y/o recolección. La espiral de crecimiento siguió su curso, y estimulada por otras tantas “revoluciones” (la industrial y luego la tecnológica), la humanidad superó los 7000 millones de habitantes.

Como podemos ver la “regla” en la Tierra siempre fue el calor, la “excepción”, el frío. Hoy estamos viviendo en un pequeño período cálido dentro de uno raramente frío.

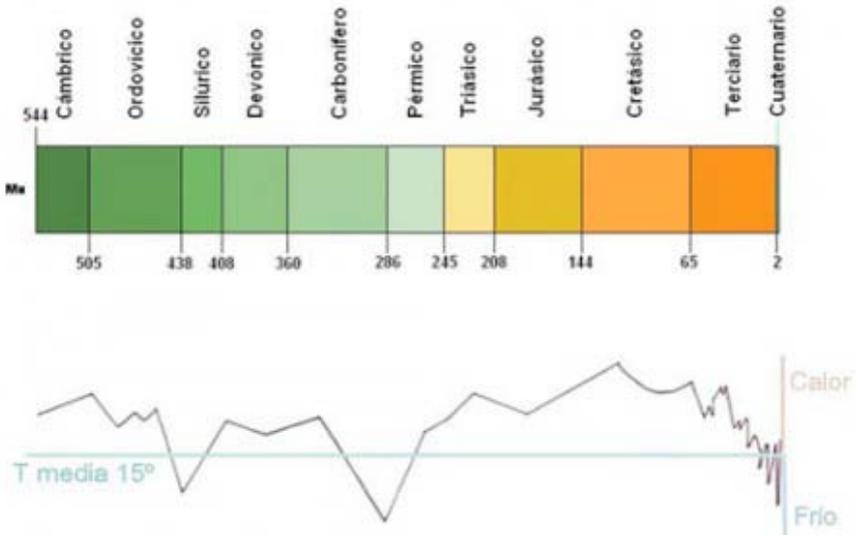


figura 3.1 Evolución de la temperatura durante los últimos 570 millones de años. Fuente: (Uriarte, 2003)

El por qué de las cosas

Causas naturales del cambio climático

Hasta aquí hemos mencionado algunos eventos del modo en que nuestro mundo se fue desarrollando y transformando durante su dilatada historia. Una de las preguntas que probablemente haya surgido sea ¿por qué la Tierra ha sufrido tantos cambios? Para dar respuesta a ella, trataremos de explicar las causas de dichas transformaciones.

Nuestro mundo es un planeta singular, tiene algo que hasta ahora no se ha encontrado en ningún otro lado: la vida. Ya hemos mencionado que desde que ésta apareció, el binomio vida/clima-clima/vida, nunca más pudo escindirarse. Entonces, los cambios que se producen en la biología terrestre repercuten en el clima y por ende los cambios que se producen en el clima repercuten en la biología terrestre. Imaginemos dos ejemplos extremos. En el primero de ellos: desaparecen todos los animales y los vegetales de la Tierra. A corto plazo, la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera aumentará rápidamente y en muy poco tiempo, la Tierra se convertirá en un “horno” gigante. En el segundo, la temperatura

cambia por factores ajenos a lo biológico y la vida en el planeta se extingue “casi” por completo. Este segundo caso, como ya vimos, ocurrió varias veces.

Pero nuestro mundo también se diferencia de otros conocidos por dos razones, las cuales tienen gran implicancia en la dinámica del clima: la presencia de agua líquida¹⁹ (además por el hecho de que ésta cubre grandes extensiones) y la dinámica interna del planeta que provoca lo que se denomina *tectónica de placas*. De ésta última hablaremos a continuación

Cuando los continentes se mueven

La tectónica de placas que explica detalladamente la dinámica del interior terrestre y los movimientos de los continentes, entre otras cosas, es una teoría bastante reciente, aceptada recién después de la década del '60 del siglo XX. Hasta ese momento, predominaba la idea de que los continentes eran enormes masas inmóviles. A pesar de ello, algunos geólogos de principios del siglo XX suponían que los continentes en algún tiempo remoto habían estado unidos como un “rompecabezas armado”. Fue el Norteamericano Frank Taylor uno de los primeros en idear una hipótesis en tal sentido, aunque vale la pena aclararlo, no fue reconocido por ello, reconocimiento que sí se llevó el alemán Alfred Wegener. Wegener, que era meteorólogo, se dedicó a estudiar los registros fósiles encontrados en América del Sur y África, algunos de ellos, como el *Mesosaurus* (un reptil similar a un lagarto, habitante de agua dulce), que se hallaba en estratos correlativos tanto en la costa occidental de África, como en la oriental de América. Esto, más el hecho bien visible y ya advertido por muchos estudiosos de la época, de que algunas líneas costeras podían encajar unas con otras, lo llevó a pensar que todos los continentes estuvieron alguna vez unidos formando uno sólo al que llamó *Pangea* y que significa “*toda la Tierra*”. En esta gran masa ideada por Wegener, parte de la fauna y la flora podía haberse reproducido, muerto, quedar sepultada y fosilizar, hasta ser descubierta millones de años más tarde, en las distintas masas continentales (ubicación actual). La idea de Wegener era casi perfecta, sólo le faltaba resolver un pequeño detalle: explicar ¿qué fuerza podía ser capaz de mover semejantes masas rocosas?

19 Se han encontrado evidencias que demostrarían que en un pasado remoto en el planeta Marte discurría el agua líquida sobre la superficie en torrentes similares como lo hacen nuestros ríos. Además se cree que bajo el hielo de Europa, uno de los satélites más grandes del planeta Júpiter, existe un gran océano de agua líquida.

En realidad no lo logró. Adujo que la fuerza de atracción en conjunto de la Luna y el Sol, más el aporte de las mareas, podían ser el motor del movimiento continental (hipótesis que fue catalogada como “*un verdadero disparate*”). Wegener murió en 1930 durante una expedición a Groenlandia y con su muerte también desapareció lentamente su teoría.

El fin de la segunda Guerra Mundial rescata el nombre de Wegener

La Segunda Guerra Mundial dejó horror a gran escala y algunos adelantos tecnológicos. Uno de ellos fue el sonar. Con este instrumento, que de forma similar que el ecógrafo que se utiliza en medicina, y que emite una onda de sonido que al “rebotar” contra el fondo del mar permite recrear una imagen del mismo, se empezaron a cartografiar las profundidades marinas. Para sorpresa de muchos, en los mapas²⁰ confeccionados se pudieron reconocer enormes cadenas volcánicas separadas por intensas fallas geológicas que discurrían a lo largo de miles de kilómetros y que como se asemejaban a la “espinas dorsal” de algunos mamíferos, se las llamó *dorsales submarinas*. Pero, ¿Cómo era posible que se encontrasen allí esas enormes cadenas montañosas que empujaban a cualquiera de las cordilleras continentales conocidas?

En los años ´60, el oceanógrafo Harry Hess entendió que estas cordilleras submarinas representan los lugares por donde los océanos se “expanden”. También entendió que si éstas eran zonas de expansión oceánica, y allí el suelo del fondo del mar se formaba, debía existir algún lugar en el que lo formado fuese absorbido por nuestro planeta, para de este modo mantener el equilibrio dinámico (caso contrario la Tierra debería aumentar de tamaño y esto no parecía suceder). A esos lugares de destrucción de la corteza oceánica, Hess los ubicó en las fosas oceánicas que rodean a algunos continentes. Allí, según Hess, el material producido en las dorsales era incorporado al manto de la Tierra, ciclo que tardaría en completarse unos cientos de millones de años. También pensó que si los océanos se expandían debían de “empujar” a los continentes, rescatando, con esta propuesta, a las ideas de Wegener del olvido.

20 Técnicamente estas representaciones del fondo marino se denominan cartas batimétricas y se representan mediante líneas llamadas isobatas que son líneas que unen puntos de igual profundidad.

Tectónica de Placas, una teoría revolucionaria

Años más tarde, cuando se unieron los conceptos de la *deriva continental* de Wegener y de la *expansión del fondo oceánico* de Hess, se formuló una teoría mucho más abarcadora que se denominó "*Tectónica General de Placas*". Si bien Wegener tenía algo de razón con su visión de los continentes en movimiento, la Tectónica de Placas explica que no sólo son los continentes los que se mueven, sino que éstos forman parte de una porción de corteza y manto terrestre denominada *litosfera* que se trasladan independientemente de otras porciones de ella. Los continentes en realidad, al contrario de lo que opinaba Wegener, quien creía que se desplazaban "*como balsas en un mar de magma fundido*" (Tarbuck, 2005), van "*montados*" en la placa en movimiento. Entonces podemos decir que la superficie de la Tierra está dividida en muchísimas porciones de placas litosféricas, formadas por corteza continental u oceánica, o ambas a la vez, y la parte más externa del manto terrestre. Éstas están en continuo movimiento desde hace miles de millones de años y en su derrotero se encuentran y, literalmente, colisionan o se separan para formar cuencas oceánicas y océanos. De los encuentros, a veces, se generan grandes arrugas corticales como las cordilleras de Los Andes o del Himalaya, además de extensos arcos volcánicos. Algunas placas son pequeñas, otras muy grandes, algunas llevan consigo un continente entero y otras solo un océano y sus islas. Pero la Tectónica de Placas debía explicar cuál es el motor que da impulso a los movimientos corticales, algo que, como ya dijimos, Wegener no pudo lograr.

El interior de nuestro planeta es una gran masa de materiales sometidos a altísimas temperaturas y presiones, En el manto inferior se calcula que la temperatura alcanza los 6000⁹ C, la misma que se registra en la superficie del Sol, y allí la presión es 1400000 veces más alta que en la superficie de la Tierra. A diferencia de lo que se podría suponer (tomando en cuenta las fundentes temperaturas que allí existen) la mayor parte del interior terrestre se encuentra en estado sólido, excepto el núcleo externo²¹, el cual tiene movimientos rotatorios diferentes a los de la Tierra y que genera el campo magnético. El resto del interior es sólido, pero un sólido que se mueve. El material sólido del manto presenta movimientos análogos a los que se generan en las "*lámparas de lava*"²², donde una

21 También algunas delgadas capas del manto se encuentran en estado líquido

22 Objeto decorativo que funciona por el calentamiento, mediante una lámpara situada en la base del artefacto, de dos fluidos de distinta densidad.

bombilla eléctrica colocada en la base del artefacto calienta líquidos de distintas densidades haciéndolos ascender hasta que, al alejarse de la fuente de calor, se enfrían y descienden para calentarse nuevamente e iniciar el ciclo nuevamente, provocando de este modo, el efecto visual buscado. De una manera similar se comporta el interior de nuestro planeta. En el manto inferior, cerca del núcleo externo, las temperaturas son mucho más elevadas que en el manto superior, la diferencia de temperaturas entre ambos niveles pone en marcha la dinámica del interior, haciendo que el material se eleve desde las capas más profundas y descienda a medida que en se “enfría”. En algunas ocasiones el material sólido que se eleva puede alcanzar la superficie, romper la delgada corteza y comenzar a fluir por ella. Es en este momento cuando se forman dos nuevas placas donde antes había solo una. Las nuevas placas comenzaran a divergir hacia ambos lados, dejando espacio para que se genere nuevo fondo oceánico (que es el resultado del enfriamiento del material que antes estaba en el manto y pudo ascender a la superficie) y por ende un nuevo océano.

Entonces la teoría de *la Tectónica de Placas* puede definirse como “*un conjunto de ideas que pueden explicar satisfactoriamente los movimientos observados en la capa externa de la Tierra (litosfera) y que generan los principales rasgos geológicos de nuestro planeta*”. (Tarbuck, 2005). El entendimiento de la dinámica de las placas terrestres no sólo ayudó a la Geología, ciencias como la Biología y la Antropología también fueron beneficiadas por sus aportes, ya que obtuvieron las bases para desentrañar enigmas sin solución hasta ese momento.

Cuándo los volcanes cambian el clima

Como ya dijimos, la superficie terrestre está dividida en muchas placas, algunas de ellas, las que “contienen” océanos y que se llaman precisamente oceánicas, están formadas por un material ígneo denominado basalto, en cambio las que “contienen” continentes y que precisamente se denominan continentales están formadas por rocas graníticas. La diferencia sustancial entre ambas es que el basalto es más denso que el granito, por consiguiente cuando ambas placas se encuentren, la oceánica indefectiblemente se hunde por debajo de la continental para finalmente incorporarse al manto (que es de dónde, en definitiva, provino). Pero, cuándo las placas litosféricas oceánicas impregnadas de agua llegan aproximadamente a los 100 kilómetros de profundidad que es donde se encuentra , por

lo general la isoterma de 1250°C²³, la placa circundante se fundirá parcialmente formando emanaciones lávicas que pueden llegar a la superficie y comenzar a expeler dióxido de carbono y vapor de agua a la atmósfera. Estos volcanes así formados tienden a ser muy explosivos, con lavas viscosas y emiten muchísimas toneladas de cenizas y todo tipo de materiales sólidos llamados *materiales piroclásticos*²⁴. Recordemos que las partículas finas en suspensión emitidas por los volcanes pueden hacer bajar drásticamente la temperatura de la región cercana a él o incluso de gran parte del planeta.

Esta no es la única forma que tiene la Tectónica de Placas para formar volcanes. En las regiones donde el material del manto asciende por convección y separa dos placas, se forman también volcanes, aunque en este caso las lavas suelen ser más fluidas y los volcanes no suelen ser tan explosivos. La diferencia es que la emisión de volátiles y, en general su actividad, es más frecuente que en los anteriores. Por último, la Tierra posee un mecanismo para liberar el calor de sus zonas más profundas, lo hace a través de puntos fijos que son emisores constantes de material del interior y se denominan *puntos calientes*. Estas emanaciones son muy prolíferas en cuanto a la cantidad de lava y gases que aportan a la superficie y a la atmósfera, por ejemplo, el archipiélago del Emperador, cuya isla más conocida es la de Hawái, es un sistema de islas generado desde hace millones de años por un *punto caliente*. Estos volcanes/islas tienen la particularidad de generar mucha corteza oceánica y, cuanto más corteza esté a la intemperie, más remoción de dióxido de carbono a través de la meteorización química se va a producir.

Una “revolución” volcánica

En 1783 en Islandia el volcán Laki entró en erupción, las emisiones de cenizas y dióxido de azufre duraron 8 largos meses. Los materiales expulsados por el volcán se mantuvieron en suspensión y fueron llevados por los vientos hacia el Este cubriendo gran parte de Europa. Al actuar como “espejo”, las cenizas volcánicas y el dióxido de azufre entorpecieron la entrada de los rayos solares, haciendo que Las temperaturas descendieran violentamente, unos 3 ° en unos pocos meses, perdiéndose por tal motivo en Europa, gran parte de las cosechas de ese año. En Egipto produjo sequías que también acabaron con los cultivos causando muchísimos muertos (se calcula que en total,

23 La isoterma de 1250°C. marca la separación entre la litosfera y la astenosfera

24 Como por ejemplo los volcanes de la cordillera de Los Andes o el famoso Krakatoa

como consecuencia directa o indirecta del volcán Laki murieron 6.000.000 de personas en todo el planeta). En Francia La hambruna se hizo presente de inmediato entre los ya descontentos pobladores. Algunos historiadores creen ver en la catástrofe ambiental de 1873 “la gota que rebalsó el vaso” e impulsó que se gestara, unos años más tarde, la Revolución Francesa.

La Tectónica de Placas también contribuye con los cambios climáticos a través de las migraciones continentales. Cuando dos placas litosféricas se encuentran, pueden generar la elevación de enormes cordilleras continentales. Al haber, de esta manera, más cantidad de rocas a la intemperie, la eliminación del dióxido de carbono presente en el aire a través de la meteorización química de los silicatos, será más significativa. Por lo tanto cada vez que masas continentales se eleven, la Tierra tenderá a sufrir un período de enfriamiento.

Otras veces los continentes pueden reunirse y formar una gran masa emergida, es lo que Wegener llamó Pangea. Las masas continentales se han unido y separado varias veces, y cada vez que se generó una Pangea, las condiciones climáticas variaron. Esto se debe a que las condiciones atmosféricas son muy diferentes en una Tierra en la que existe un solo continente rodeando de extenso mar, a las que se dan en la actualidad, con continentes separados y distribuidos alrededor del globo y varios océanos intercalados. En el primer caso, el supercontinente debería comportarse como una “gran Australia”. Esta isla/continente de Oceanía, se comporta como un gran desierto con muy pocas zonas húmedas en las costas del norte y del este. Pero ¿por qué Australia es un gran desierto? Existen dos factores fundamentales: uno es su posición latitudinal; entre los 20 y 40 grados de latitud sur. Los vientos que descienden en esas latitudes se comprimen porque están, en su descenso, sometidos a una presión mayor y, al hacerlo se calientan, de manera tal que la humedad que contienen, no se puede condensarse y por ende no pueden formarse nubes; por lo tanto, no se producen precipitaciones. El otro factor que convierte a Australia en un gran desierto es su extrema continentalidad. A los vientos que penetran desde el océano, les queda una distancia enorme por recorrer hasta llegar al centro del continente, por lo que la descarga de humedad se producirá solo en las áreas costeras. Ahora bien, imaginemos el mismo panorama pero ampliado varias veces. Un gran supercontinente generará un megadesierto, y eso es precisamente lo que ocurrió en cada Pangea. Al mismo tiempo, en un único mar, la temperatura del agua también tenderá a uniformarse

debilitándose el motor que impulsa a las corrientes marinas. Al no haber un circuito marino bien desarrollado, la temperatura del agua se eleva, y un mar muy caliente es proclive a formar huracanes. El Katrina, huracán que azotó a la ciudad de Nueva Orleans en 2005 se produjo como consecuencia de que el mar Caribe en el Golfo de México, se encontraba particularmente caliente ese año. Con un gran océano muy caliente durante el período de la Pangea, los “katrinas” habrán sido, posiblemente, moneda corriente.

Los “ríos” del mar y los cambios climáticos

Las corrientes marinas han tenido un papel preponderante en la evolución del clima en la Tierra. Éstas son como “grandes ríos” dentro del mar e implican el desplazamiento de enormes volúmenes de agua a grandes distancias, cubriendo casi todo el planeta. Son originadas por diferencias en la salinidad y la temperatura del agua (que registran las distintas regiones de los océanos), por las mareas (en menor proporción) y por la rotación terrestre. Las masas de agua más saladas y más frías son más densas que las menos saladas y más calientes. Las más densas se hunden y recorren miles de kilómetros hasta latitudes más bajas donde se calientan por la acción directa de los rayos solares y se vuelven menos densas, una vez disminuida su densidad, el agua tiende a elevarse para continuar su recorrido cerca de la superficie como agua cálida poco densa, que irá desplazándose hacia zonas polares para volver a enfriarse y recomenzar el circuito dinámico. Este sistema de corrientes marinas se denomina *termohalino*. Sin ellas, las regiones más frías del planeta se volverían mucho más frías y las regiones más cálidas, mucho más cálidas. En un planeta sin, o con escasa circulación marina, los contrastes climáticos se agudizarían.

De la verde a la blanca Antártida

También la tectónica puede hacer cambiar rápidamente el clima de todo un continente y luego por efecto de ello el de todo el planeta. Tal es el caso de lo que ocurrió con la Antártida. Hace unos 150 millones de años el ahora continente helado se encontraba unido a Sudamérica, pero luego comenzó a migrar hasta ocupar la posición en que se encuentra actualmente, pero aunque se encontraba en posiciones polares, la temperatura era lo suficientemente alta como para permitir el crecimiento de frondosos bosques en su interior, es que en esos momentos todavía se hallaba unida a Sudamérica por un delgado istmo, gracias a ello una corriente marina cálida, una suerte de “Corriente

del Golfo actual" bañaba sus costas templando su temperatura, pero cuando hace 27 millones de años el istmo se abrió, la corriente cálida no pudo ingresar más y fue remplazada por una corriente fría que circunvaló al continente aislándolo y enfriándolo lentamente hasta convertirlo en una costra de hielo de más de 5.000 metros de espesor.

Causas astronómicas del cambio climático

El ciclo de Milankovitch

Venus posee temperaturas capaces de fundir el plomo en su superficie (superiores a los 500°C). Marte es un planeta más pequeño que la Tierra, se encuentra más alejado del Sol y registra temperaturas más bajas que la Antártida (-55°C). La Tierra, situada entre las órbitas de los dos anteriores, posee una media global de 15° C. ¿Estas temperaturas nos indican que Venus está muy cerca del Sol, que Marte está demasiado lejos y que la Tierra se encuentra a la distancia ideal? Nada más alejado de la realidad. Ocurre que el factor más importante en la cantidad de calor que un planeta puede conservar no es la distancia a la que se halla del Sol (que aunque influye, no es determinante), sino la cantidad de gases de invernadero que posea en su atmósfera. Venus posee una atmósfera muy densa, muy rica en dióxido de carbono, superando este gas el 90% del total de ella. De no haber existido semejante cantidad, las temperaturas deberían de haber sido similares a la de la Tierra. En cambio a Marte le sucede lo contrario, posee una atmósfera muy tenue con abundante dióxido de carbono pero muy poco vapor de agua, lo que le confiere su baja temperatura y una amplitud térmica exageradamente grande.

Los gases y la densidad atmosférica confieren a los planetas sus temperaturas características. Las variaciones climáticas están, entonces, muy relacionadas con la geología planetaria, con lo tenue o densa que pueda ser su atmósfera, con los gases de invernadero que se encuentren en ella y con la cantidad de radiación que llegue del Sol. Pero éstos no son los únicos factores que tienen una injerencia en las condiciones climáticas de los planetas en general y del nuestro en particular.

Desde hace varios siglos los geólogos han encontrado huellas de glaciaciones pasadas en casi todos los rincones del mundo pero, si bien se sabía que el hielo alguna vez había avanzado hasta latitudes insólitas, no se comprendía por qué ocurría frecuentemente dicho fenómeno.

En 1860 un escocés llamado James Croll revolucionó con sus publicaciones las ideas que los hombres de ciencias tenían sobre las fluctuaciones climáticas. Croll afirmaba que la órbita terrestre alrededor del Sol, en lo que respecta a su excentricidad, sufría cambios al cabo de unos cuantos miles de años, que hacían que nuestro planeta recibiera durante un buen tiempo mayor o menor radiación solar, dependiendo de la elipse de la órbita. El pensamiento de Croll era brillante y además, las publicaciones provenían de la prestigiosa Universidad de Anderson. Pero cuando la comunidad científica descubrió que Croll no era un científico, sino un ordenanzas de la alta casa de estudios, algunos no lo tomaron en serio. Sin embargo, otros siguieron sus preceptos y fue reconocido, años más tarde, como miembro de la Academia de Ciencias de Nueva York. Luego de su muerte, sus ideas fueron lentamente olvidadas. No obstante, en 1930, un ingeniero serbio llamado Milutin Milankovitch apoyándose en las hipótesis de Croll, estimó que pequeñas variaciones en los movimientos astronómicos de nuestro planeta tenían una relación directa con los períodos fríos y cálidos que cíclicamente se presentaban en la Tierra.

Según Milankovitch la Tierra no sólo experimenta variaciones en su órbita alrededor del Sol como afirmaba Croll, sino también en su eje de rotación y también le atribuyó al movimiento de precesión terrestre una influencia en los cambios climáticos del pasado. Según los cálculos realizados por este meticuloso ingeniero, la Tierra pasaba de tener una órbita que se acercaba al círculo casi perfecto, a una bastante excéntrica, en un lapso de tan sólo 100000 años. El valor de la excentricidad²⁵ actual es de 0.017 y la excentricidad máxima que alcanza la órbita terrestre es de 0.0658, o sea, 4 veces más que en la actualidad (ver figura 3.3). Que la Tierra varíe su excentricidad implica que la radiación solar que recibirá en su afelio, que es punto del eje radial en que la Tierra se aleja más del Sol, y en su perihelio, que es el punto del eje radial en que nuestro planeta se encuentra más cerca del Sol²⁶; será muy distinta cuando ésta se asemeje a un círculo de cuando se “estire” y presente su excentricidad más alta, y esto trae indefectiblemente consecuencias climáticas.

25 Se denomina excentricidad de una órbita a la medida de distorsión del círculo perfecto, una excentricidad de 0 es una órbita circular. Una excentricidad cercana a 1 es una órbita muy elíptica, similar a la de los cometas.

26 En la actualidad durante el afelio (que se produce durante los primeros días de julio) nos encontramos a una distancia del Sol de 152 millones de kilómetros, en cambio durante el perihelio (que se produce durante los primeros días de enero) la Tierra se encuentra a una distancia del Sol de 147 millones de kilómetros. Para que el lector no se confunda, ambos puntos no tienen absolutamente ninguna relación con las estaciones del año.

Milankovitch también afirmaba que la inclinación del eje terrestre variaba su ángulo pasando de 22° a $24,5^{\circ}$ cada 41.000 años (ver figura 3. 2). Hoy tenemos una inclinación²⁷ de $23^{\circ} 27'$. Al variar la inclinación del eje también lo hacen las franjas tropicales acortándose o extendiéndose las áreas intertropicales, hecho que genera que la Tierra reciba más o menos radiación solar.

Por último asoció el movimiento de precesión a los cambios climáticos (ver figura 3.2). La precesión de los equinoccios es un movimiento astronómico que posee nuestro planeta similar al que realiza un trompo cuando va perdiendo velocidad. El “cabeceo” que realiza el juguete también lo hace la Tierra pero en un lapso de 26000 años. De esta manera el eje va describiendo un cono imaginario en el espacio que hará que cada 13.000 años dicho eje quede apuntando a la estrella Vega o a la estrella Polar respectivamente, esto quiere decir que la radiación solar recibida variará gradualmente durante 13.000 años para volver a hacerlo durante los 13.000 restantes²⁸.

Milankovitch vinculó los tres movimientos y encontró una correlación causal entre las glaciaciones y dichas variaciones astronómicas, pero tal cual le pasara a Wegener, no fue reconocido hasta que, después de la década del '50, las dataciones absolutas por radiometría le dieron la razón. Es oportuno destacar que las apreciaciones de Milankovitch sólo son correctas para entender las últimas glaciaciones. No es una teoría válida para las más antiguas.

27 Que es la que vemos en todos los globos terráqueos.

28 La precesión terrestre fue descubierta por Hiparco de Nicena (190 a.C/ 120 a. C.). Este movimiento imperceptible para una vida humana además de generar cambios climáticos a largo plazo, tiene consecuencias quizás más banales para nosotros. Ocurre que, como consecuencia de la precesión, los signos del zodiaco se han ido “corriendo” desde que fueron creados por los hombres de la antigüedad. Por eso, si al lector le gusta leer los horóscopos, pasatiempos que el autor no comparte, tenga presente que si es de Virgo (24-8/23-9) en realidad cree serlo, porque en ese caso nació bajo la “influencia” de la constelación de Leo y, para los que nazcan dentro de 600 años en la misma fecha, su signo debería ser Cáncer. Es que la precesión retrograda el punto de corte de la línea del ecuador celeste con la intersección del plano de la eclíptica, a razón de 50 segundos de arco por cada año. Pues entonces si hace 2000 años el Sol se proyectaba en la constelación de Aries cuando comenzaba la primavera, hoy lo hace sobre la constelación de Piscis. Pues en ese lapso el ángulo ha girado $50'' \times 2000$) es decir unos 27° .

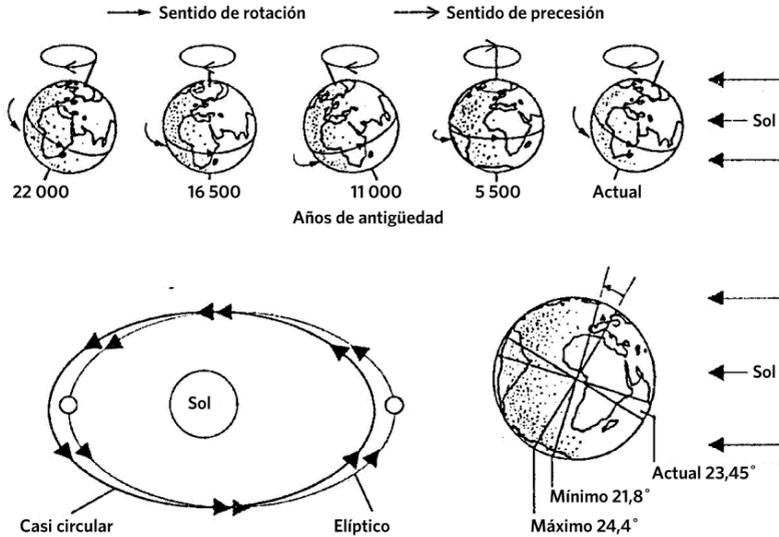


Figura 3.2 Ciclos de Milancovitch. Fuente: http://perso.wanadoo.es/biologiacolon/temas/02_atmosfera/02_02_dinamica_global.htm

Variaciones en la emisión solar

El Sol es una estrella de tamaño modesto que se formó hace unos 4.600 millones de años y hoy se encuentra en la mitad de su vida estelar, es una estrella del tipo espectral G2 y la energía que irradia es responsable de gran parte de la vida, además calienta y provoca la circulación atmosférica en la Tierra (Feinstein et al, 1999)

Cuando se formó, la energía que emanaba era muy inferior a la de la actualidad, esto sin dudas ha tenido un efecto directo en el clima de nuestro planeta. La luminosidad ha aumentado con el tiempo (aproximadamente un 10% cada 1.000 millones de años). Nuestra estrella, por lo tanto, irá “envejeciendo” y se hará más caliente. Dentro de unos 4000 millones de años emitirá tanta radiación, que la temperatura en la Tierra se elevará a niveles que hará que todos los mares se evaporen. Se ha calculado que por cada 10% de aumento en su brillo, la temperatura en nuestro mundo se incrementará unos 2 grados. El Sol también genera fluctuaciones en su actividad. Cada 11 años, en su superficie, se producen las llamadas “*manchas solares*” que coinciden con períodos de mayor luminosidad en la superficie solar.

El mínimo de Maunder

En 1893 el astrónomo inglés Eduard Maunder encontró una relación causal entre la ausencia casi total de manchas solares en los archivos de observaciones registrados entre 1645-1715. Durante este lapso en el Sol se observaron apenas 50 manchas contra las 50.000 que se suelen observar comúnmente. Esta ausencia casi total de manchas solares en la superficie del Sol llevó a Maunder a teorizar que la “pequeña edad de hielo” que se produjo entre los siglos XV y XVIII fue responsabilidad de la baja emisión de radiación solar que se produjo en ese período. A esto se lo conoce como el “mínimo Maunder”. Un Sol “más frío” produce una leve disminución en las temperaturas globales de nuestro planeta, efecto que ha repercutido en la suerte y destino de muchos de los pueblos de la época.

¿Cómo sabemos lo que sabemos?

Ya en el siglo XVIII los hombres de ciencias sabían que algo extraño había ocurrido con el clima del mundo en el pasado. Frecuentemente se topaban con fósiles de renos del ártico cerca de la costa del Mediterráneo, pinturas en cavernas que daban cuenta de una fauna totalmente distinta a la de la actualidad y rocas inmensas en lugares dónde jamás deberían haber estado. No había una explicación razonable para todo esto, hasta que en 1834 el naturalista Jean Charpentier llegó a la conclusión de que los glaciares, en algún momento del pasado, habían cubierto casi toda la región europea, ahora libre de ellos. Él mismo cuenta que un día iba caminando, en 1834, por un sendero rural con un leñador suizo y se pusieron a hablar de las rocas que había a los lados. El leñador le explicó, con toda naturalidad, que las rocas procedían del Crimself, una zona de granito que quedaba a cierta distancia. Cuando Charpentier le preguntó cómo creía él que habían llegado aquellas rocas a su emplazamiento, el leñador le contestó, sin vacilación, que el glaciar del Crimself las había transportado a ambos lados del valle, porque en el pasado el glaciar llegaba hasta la ciudad de Berna (Bryson 2006).

Con el avance de las ciencias se fueron esclareciendo sucesos del pasado. Pero de inmediato surgen dos interrogantes ¿cómo podemos conocer hechos que ocurrieron hace millones de años y cómo sabemos cuánto tiempo transcurrió desde que se produjo un determinado acontecimiento?

Existen varios métodos y técnicas de las que se vale la ciencia para comprender cómo ha evolucionado el clima. Explicaremos sólo algunos de ellos.

La disciplina que se encarga de estudiar los climas del pasado recibe el nombre de *paleoclimatología* y lo hace a través de indicadores naturales que se encuentran en distintos ambientes del planeta. Los datos recolectados de los registros naturales reciben el nombre de “*proxy*”. Los científicos obtienen “*proxy*” de los anillos de los árboles, de los corales, del hielo profundo, del polen fósil y de los sedimentos oceánicos, entre otros. Veamos algunas características. Los corales son animales coloniales que habitan los mares cálidos y templados. Los pólipos de coral mueren con el tiempo, pero la estructura calcárea permanece y sirve de base para que otros pólipos se fijen a ella. Así, generación tras generación, y durante millones de años, los corales van formando estructuras gigantescas que se conocen como arrecifes de coral y que no son más que el “esqueleto” de muchísimos corales, que incluso pueden, en algunos casos, formar islas coralinas (llamadas atolones). Pero, ¿cómo obtienen los científicos datos del pasado climático a partir de estas estructuras? Estos animales tienen la particularidad de construir sus esqueletos con el carbonato de calcio disuelto en el agua del mar. El carbonato, a su vez, contiene isótopos de oxígeno. La ciencia se vale del estudio de los átomos de oxígeno atrapado en el cuerpo de un coral, por ejemplo, muerto hace 10 millones de años. Al analizar el oxígeno encontrado en el diminuto fósil, se puede saber cómo se comportaba el clima en ese momento y cuál era la temperatura del agua cuando dicho coral estaba vivo. Las temperaturas pasadas están relacionadas con la cantidad de CO₂ y metano presentes en la atmósfera y se pueden conocer estudiando la proporción de los isótopos de oxígeno 16 (O₁₆) y oxígeno 18 (O₁₈) que se encuentren en la muestra. En las burbujas de aire atrapadas, se encuentran restos de isótopos de oxígeno O₁₆ y O₁₈ respectivamente. Cuando la muestra contiene mayor proporción de O₁₈ nos indica que la temperatura del planeta era elevada y cuando encontramos más O₁₆, que era menor.

Las plantas que florecen, producen polen. Cada grano de polen tiene una forma particular que es característica de cada especie. Los granos de polen pueden ser dispersados por el viento, el agua o los animales. Con el tiempo, el polen que no intervino en la fecundación de otra planta, se va depositando junto con los sedimentos, en distintas capas del fondo de los océanos, mares o lagos. Analizando qué tipo de polen se encuentra en cada capa, podemos inferir qué tipo de planta crecía en el momento en que se formó el estrato sedimentario. Una vez conocido qué tipos de plantas crecían en el entorno, podemos inferir cómo era el clima en ese lugar, en el momento que la planta estaba viva.

En las regiones donde se acumula el hielo es posible estudiar el clima del pasado analizando el aire contenido en las burbujas de aire que quedan atrapadas cuando la nieve caída no se derrite. En la Antártida, por ejemplo, la inmensa capa de hielo que se encuentra por encima de la masa continental y que alcanza espesores de más de 5000 metros, se fue acumulando lentamente, durante millones de años. Cuando se perfora el hielo y se extrae parte de él de las profundidades, se pueden obtener registros de hielo formado hace más de 200000 años. Esos copos de nieve (ya convertidos en cristal de hielo) que cayeron sobre la superficie, pueden contener en su interior restos de polen o burbujas de aire, que nos dan una idea de cómo era el ambiente en ese momento. Estudiando la composición del aire que quedó atrapado en la burbuja se puede determinar la cantidad de dióxido de carbono y metano que existía en la atmósfera en ese momento y conocer la temperatura global del planeta. También pueden contener restos de cenizas volcánicas. En síntesis, el estudio de los testigos de hielo es de gran ayuda para entender los paleoclimas.

Los sedimentos son pequeños trozos de rocas preexistentes que fueron arrancados de ellas por medio de la meteorización. Los agentes de arrastre y la gravedad los transportan luego a grandes depresiones donde se acumulan formando “colchones” de estratos sedimentarios en los que quedan las huellas de un pasado remoto. En los fondos de los lagos también se acumulan sedimentos provenientes de otros lugares o del depósito de la materia en suspensión que contenía el agua. Estudiando los fósiles y los minerales que se acumulan en los estratos sedimentarios se puede inferir cuáles eran las condiciones climáticas de la época en que se formó cada estrato.

El estudio de los anillos de los árboles se denomina *dendrocronología*. A través de esta disciplina se puede conocer cómo era el ambiente en el momento en que el árbol vivía. *Cada año en las regiones templadas los árboles añaden una capa de madera nueva debajo de la corteza* (Tarbuck, et al 2005). Las características ambientales favorables para el crecimiento del vegetal producirán un anillo ancho, en cambio las desfavorables producirán un anillo estrecho. Cómo los árboles no tienen una vida muy larga, debemos reconstruir el pasado climático encontrando correlaciones entre los anillos de un árbol del cual conocemos el momento en que fue talado, con otros más antiguos del cual, por supuesto, no conocemos cuándo vivió.

El cálculo del tiempo

Hasta el siglo XX no se tenía una idea concreta de cuánto tiempo pasó desde que se formó la Tierra hasta el presente, ni cuán antiguo podía ser un fósil hallado o cuántos años de existencia podían tener un volcán o un estrato de cenizas volcánicas. Las primeras especulaciones en el siglo XVII provinieron de un grupo de pensadores llamados “catastrofistas” que creían que la Tierra y todo en ella, se había formado a partir de una “gran catástrofe universal” y que luego de ello, nuestro planeta permaneció inmutable hasta el presente. Años más tarde, el escocés James Hutton (1726-1797) estableció la edad de La Tierra en unos 70000 años, cifra que pareció exagerada para la época. Obviamente todas estos cálculos se basaban en especulaciones, ya que no existían métodos fiables de datación. Por eso, no fue sino hasta el siglo XX en que los avances en el estudio de la radiación permitieron encontrar una forma segura y confiable de establecer la edad de los acontecimientos geológicos. Veamos cuáles son los principios básicos de esta técnica.

Dentro de un magma²⁹ “conviven” muchísimos átomos de los más variados elementos químicos de la naturaleza, cuando éste comienza a enfriarse, los átomos se unen formando diversas combinaciones, en muchos casos, minerales. Algunos de estos elementos químicos tienen la particularidad de ser isótopos³⁰, por lo tanto son inestables. Cuando un isótopo alcanza su estabilidad final, es porque se convirtió en otro elemento químico³¹. La transformación de los isótopos de distintos elementos químicos se realiza en un tiempo determinado y ese tiempo de transformación no es afectado por las condiciones del medio, es decir que, aunque las condiciones sean inestables (temperatura, humedad, presión, etc.) los elementos químicos pasarán de ser “padres” a “hijos” en un determinado tiempo constante e inalterable. Para calcular la edad de una roca necesitamos que dentro de ella, al momento de su formación, hayan quedado atrapados elementos

29 Se denomina magma al material del interior terrestre que se encuentra a altas temperaturas en estado semifundido y que es capaz de fluir hacia el exterior formando lava

30 Un isótopo es un elemento químico que posee la misma cantidad de protones, pero distinta cantidad de neutrones.

31 El isótopo inestable se denomina elemento “Padre” y el elemento final resultante de su transformación, se lo denomina “Hijo”. Este proceso lo realiza a través de tres tipos de procedimientos: a) partículas Alfa, b) partículas Beta y c) captura de electrón. Al realizar estos procesos los átomos emiten la tan temida radiación.

químicos inestables para poder luego, calcular la proporción entre el elemento químico “padre” con respecto al “hijo”. Al hacerlo se obtiene una fecha casi exacta del momento en que se formó la roca. Existen muchos elementos inestables radiactivos, pero sólo unos pocos (debido al tiempo que les lleva para pasar de “padre” a “hijo”), sirven para realizar dataciones absolutas. Uno de ellos es el Uranio²³⁸- Plomo²⁰⁶ donde el primero es el “padre” inestable y el segundo el “hijo” ya estable y cuya transformación la realiza en un lapso de 4500 millones de años (justamente la edad de la Tierra). Entonces, cuando una roca que cristalizó a partir de un magma contiene en su interior Uranio 238 y éste comienza a transformarse, ese “reloj natural”, sólo se detendrá cuando todo el Uranio 238 de la roca se haya convertido en Plomo 206. Es decir, si una muestra se encuentra conformada mayoritariamente por Uranio 238, probablemente se trata de una roca de formación reciente. Caso contrario, si encuentro en su mayoría elementos “hijos” (Plomo 206) la muestra en cuestión se formó hace por lo menos 4.500 millones de años³². La más famosa de estas técnicas, llamadas dataciones por radiometría, es sin dudas el método de datación por carbono 14. Básicamente se sigue el mismo principio que en el anteriormente descrito, pero con la salvedad de que este último, sólo se puede emplear para datar muestras de origen orgánico y sólo sirve para establecer fechas muy recientes (hasta 70.000 años).

Una reflexión

Hemos transitado hasta aquí un largo camino para comprender los cambios climáticos y las consecuencias que produjeron a lo largo de la historia de nuestro mundo. También hemos visto cómo el planeta se fue modificando constantemente y cómo las condiciones en las que nos hemos desarrollado los seres humanos son el resultado de un sinnúmero de variables fortuitas, quizás irrepetibles en otros astros. La presencia de vida, de agua en enormes cantidades, la presencia de un satélite natural del tamaño del nuestro, la caída de algunos asteroides que

32 En realidad, para realizar dataciones absolutas por radiometría se contabilizan períodos de semidesintegración. Es decir, “el tiempo necesario para que se pueda desintegrar la mitad de los núcleos de una muestra” (Tarbuck 2.005). Por ejemplo si en una roca encontramos 50% de isótopos padre y 50 % de isótopos hijos, habrá transcurrido un sólo período de semidesintegración; si en cambio, en una muestra encontramos 25% de isótopos padre y 75% de isótopos hijo, habrán transcurrido dos períodos de semidesintegración. Como cada isótopo radiactivo posee un período de semidesintegración con una cantidad fija de años, ahora sólo resta contabilizar la cantidad de períodos de semidesintegración que han transcurrido para conocer la antigüedad de la roca analizada.

se presume extinguieron casi toda la vida presente en ese momento y fundamentalmente un sistema de convección interno que originó la dinámica de la tectónica y, con ella, sus manifestaciones geológicas: volcanes, continentes que se reúnen y que se separan y cadenas montañosas que se crean donde antes sólo existía un fondo oceánico. La conjunción de todas estas variables fue tan azarosa que resulta increíblemente llamativo que nosotros mismos estemos hoy aquí. Coincidimos con Bill Bryson cuando señala que resulta un poco desconcertante pensar que toda la historia humana significativa (la aparición de la agricultura y la ganadería, la creación de ciudades, el surgimiento de las matemáticas, la escritura, la ciencia y todo lo demás) haya tenido lugar dentro de un pequeño período atípico de buen tiempo (Bryson, 2.006). Además, también pudimos apreciar cómo la naturaleza ha generado enormes cambios que empequeñecen los que nosotros pudimos haber hecho en nuestra corta existencia. Todo esto nos lleva a pensar si realmente somos tan importantes como nos creemos y quizás nos ayude a que podamos reflexionar sobre el papel que nos toca en este entramado del que formamos parte que, es la naturaleza. Somos apenas un “pestañeo” en la inmensidad del tiempo geológico y en verdad hemos transformado la faz de la Tierra como ningún otro ser vivo lo ha hecho.



CAPITULO IV

La responsabilidad política y social en la preservación del medio ambiente

Marcelo Alejandro Diez

“Hemos modificado tan radicalmente nuestro entorno que ahora debemos modificarnos a nosotros mismos para poder existir dentro de él”

Norbert Wiener (1894-1964)

¿Somos los responsables del calentamiento global?

El clima de la Tierra ha experimentado grandes cambios a través del tiempo. Todo esto se ve reflejado en las gráficas que nos proporcionan las escalas paleotérmicas. Si analizamos detenidamente estas escalas, podemos decir que desde hace diez mil años estamos atravesando una época cálida, que ha propiciado, entre otras cosas, el establecimiento de los seres humanos en comunidades a partir del desarrollo de la agricultura. Otra conclusión que se desprende del análisis de las escalas paleotérmicas, es que este período “cálido”, no es más que un paréntesis en una etapa fría de nuestro planeta, que ya lleva más de un millón de años. De todos modos, durante estos últimos diez mil años, la temperatura tampoco ha permanecido estable. Hubo períodos mucho más cálidos que los actuales, como por ejemplo, el que se dio en llamar “Cálida Edad Media”. De acuerdo a los registros históricos, se sabe que durante esa época los Vikingos colonizaron Groenlandia, donde se asentaron en granjas y se dedicaron al cultivo de cereales. También hubo períodos mucho más fríos que los actuales, como la denominada “Pequeña Edad del Hielo” que comenzó a fines del siglo XV y duró más de doscientos años.

El frío fue tan intenso, que las huestes de Enrique VIII podían cruzar el río Támesis con sus carrozas. Sin embargo, según la mayoría de los investigadores, la curva ascendente que representa el aumento de la temperatura global, es mucho más pronunciada durante el último siglo que en épocas anteriores. Ahí es donde entra en juego la hipótesis de la alteración del ciclo climático por causas antropogénicas y que algunos científicos han dado en llamar “Efecto Invernadero Realzado”.

¿Crónica de un gran fraude?

Durante el año 2007, un terrible escándalo sacudió al mundo de las Ciencias. Una serie de correos electrónicos que fueron intercambiados entre prestigiosos científicos del Centro de Investigación del Clima de la Universidad de East Anglia del Reino Unido, fueron interceptados y colgados en la web. En algunos de ellos, los investigadores manifestaban haber manipulado datos para que sus trabajos fueran concordantes con la hipótesis de Mike Mann (autor de la gráfica que representa el incremento abrupto de la temperatura global durante los últimos cien años y es conocida como “palo de golf”). En uno de ellos, Phil Jones, director del prestigioso centro comentaba: “Acabo de completar el truco de Mike (Mann) en Nature de añadir la temperatura real a cada una de las series para los últimos 20 años (de 1981 en adelante) y desde 1961 para las de Keith para ocultar el descenso”. Las polémicas que se desataron a raíz de dicho escándalo continúan empañando a la hipótesis del Efecto Invernadero Realzado por causas antropogénicas.

Lo cierto es que las predicciones son inciertas. Podemos enfrentarnos a posturas catastrofistas que vaticinan cataclismos globales a corto plazo o a otras mucho más relativistas, que proponen que la compleja trama de fenómenos físicos que determinan el clima de nuestro planeta es capaz de amortiguar nuestras acciones. De todos modos, e independientemente de estas dos corrientes, la mayoría de las evidencias indican que en lo inmediato, se está alterando el ciclo. Aunque ya hemos mencionado que algunas de las acciones más relevantes son la deforestación, la ganadería, la quema de bosques y la utilización de combustibles fósiles. También existen otras actividades que impactan notablemente en la evolución del clima de nuestro planeta. Ellas son la generación de basura y la emisión de residuos industriales.

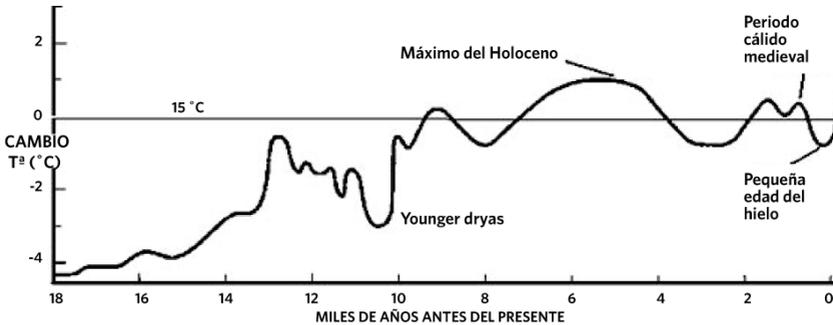


Figura 4.1 Escala Paleotérmica. Fuente: <http://lampuzo.wordpress.com/2008/06/28/verdades-y-mentiras-del-cambio-climatico/>

¿Cuándo comienza la preocupación por el cuidado del medio ambiente?

Si hacemos una revisión de la literatura, no son pocos los autores que durante los dos últimos siglos exteriorizaron su preocupación por el deterioro del medio ambiente. Desde Thoreau, quién bregaba por la vuelta a una vida más sencilla guiada por los valores de la naturaleza, hasta Asimov, que “fantaseaba” con nuevos escenarios para la vida. De todos modos, y aunque no pueda mencionarse un hecho concreto que determine el punto de inflexión en la conciencia ecológica, a mediados del siglo XX se desencadenaron una serie de sucesos que cambiaron la visión que se tenía de la relación entre los seres humanos y el medio ambiente. Las dos bombas nucleares lanzadas contra Japón durante la segunda guerra mundial, no sólo devastaron a Nagasaki e Hiroshima. También sacudieron a la humanidad, quitándola de ese letargo intolerable que brinda la seguridad absoluta. Infundieron el temor a una destrucción masiva a manos del hombre e impulsaron a la reflexión sobre la inminente vulnerabilidad de un ambiente que hasta ese momento era tratado como inalterable. Aunque suene paradójico, la llegada del hombre a la luna también contribuyó a valorar el cuidado de nuestro planeta. Más allá de haber sido considerada por Armstrong como “un pequeño paso para un hombre, pero un gran salto para la humanidad”, el hecho de alunizar y comprobar que la existencia de otros mundos habitables no era tan simple como se creía, hizo que la fantasía sobre un planeta desechable, se desplomase abruptamente. Las voces que clamaban por un ambiente saludable comenzaron a hacerse oír y

abrieron paso a un nuevo escenario mundial donde la problemática ambiental ya estaba instalada. Esto obligó a que las Naciones Unidas convocasen a la “*Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano*”.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano

Se celebraron en Estocolmo, en junio de 1972, y participaron 1.200 delegados que representaban a 110 países. Los debates de la Conferencia de Estocolmo fueron precedidos por la publicación de un informe elaborado por más de un centenar de científicos de todo el mundo, denominado “Una sola Tierra: El cuidado y conservación de un pequeño planeta”. Un fragmento del párrafo 6 del informe dice que:

“Hemos llegado a un momento en la historia en que debemos orientar nuestros actos en todo el mundo atendiendo con mayor cuidado a las consecuencias que puedan tener para el medio. Por ignorancia o indiferencia podemos causar daños inmensos e irreparables al medio terráqueo del que dependen nuestra vida y nuestro bienestar. Por el contrario, con un conocimiento más profundo y una acción más prudente, podemos conseguir para nosotros y para nuestra posteridad unas condiciones de vida mejores en un medio más en consonancia con las necesidades y aspiraciones del hombre”

Podríamos indicar, sin riesgo a equivocarnos, que la conferencia de Estocolmo fue el punto de partida para una serie de acuerdos y convenios que se fueron estableciendo a partir de su realización. Su declaración final contiene diecinueve principios que representan el manifiesto ambiental de la actualidad. En el mismo año y a raíz del golpe de efecto causado por la conferencia, la Asamblea General estableció el “*Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*” (PNUMA), que es el encargado de coordinar las acciones de las Naciones Unidas en el cuidado del medio ambiente. Actualmente, las prioridades del programa son velar por la correcta gestión del ambiente, el uso racional de los recursos y el cambio climático.

En 1992 se celebró en Río de Janeiro la segunda “Cumbre de la Tierra”. Durante la misma, el PNUMA amplió su temática a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, y fue justamente allí donde se elaboró la Declaración de Río. Fue durante esa conferencia también, en la que en el principio 3º se asumió la definición de Desarrollo Sostenible, acuñada una década atrás.

¿Qué es el desarrollo sostenible?

Es muy probable que si deseamos conocer acerca del “desarrollo sostenible”, nos encontremos con la definición que postula que es “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro, para atender a sus propias necesidades” (comisión Brundtland, 1987) y aunque la cita anterior contempla todos los aspectos como para entender el concepto, nos detendremos en este punto con el objeto de analizarlo. Como se planteaba en párrafos anteriores, a mediados del siglo XX la idea de un ambiente inalterable y de recursos ilimitados comenzó a desvanecerse, y a principios de los 70, también comenzó a evidenciarse una pérdida progresiva de la biodiversidad. Eso hizo que todas las miradas se posaran sobre las actividades humanas y la responsabilizaran de los impactos producidos sobre el ambiente. Pero imaginar un futuro donde el desarrollo social humano se presentase desvinculado de lo económico y ambiental, tampoco parecía posible. Eso hizo que se comenzase a forjar la idea, de que había que arbitrar los medios para lograr un equilibrio entre lo económico, lo ecológico y lo social.

Desde que se acuñó el concepto a la actualidad, la connotación de algunos sus términos fue cambiando. El hecho de tratar a la naturaleza como fuente proveedora de recursos que permitiesen saciar las necesidades humanas, y donde se los clasificaba de acuerdo a su capacidad de renovación (idea errónea, ya que a la larga “todos” los recursos se agotan), hizo que se propiciara la utilización de algunos de ellos. Durante la última cumbre de la tierra (Río +20) quedó en claro, que si queremos evitar que el ambiente siga siendo deteriorado, es necesario dejar de considerar a la naturaleza como mera proveedora de recursos para el desarrollo humano.

Algunos de los temas que se trataron durante Río 92, incluyeron el análisis de las fuentes de Energía Alternativa para reemplazar la utilización de combustibles fósiles y la necesidad de instrumentar organismos de control sobre los patrones de producción (de los componentes tóxicos contenidos en los combustibles y de los residuos contaminantes). El principal logro de esta cumbre, fue el acuerdo sobre la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (CM-NUCC), que más recientemente se plasmaría en el *Protocolo de Kyoto* sobre el Cambio Climático, en el cuál se fijaron una serie de objetivos de cumplimiento obligatorio para los países industrializados. El propósito fundamental era que las industrias redujeran progresivamente los niveles de emisión de algunos de los

gases de efecto invernadero comprometidos en el calentamiento global. Las metas que se fijaron establecían que la reducción en la emisión de Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido de nitrógeno (N₂O), Hidrofluorcarbono (HFC), Perfluorcarbono (PFC) y Hexafluoruro de Azufre (SF₆) debían ser de un 5% en el período comprendido entre los años 2008 y 2012, en comparación con el nivel promedio de emisiones mundiales de 1990. Aunque el protocolo fue creado en el año 1997, no entró en vigencia hasta el año 2005, ya que durante su elaboración se estableció expresamente, que el mismo sería de cumplimiento obligatorio cuando el compromiso fuese ratificado por los países responsables de al menos el 55% de las emisiones de Dióxido de Carbono. Con la ratificación de Rusia a fines del 2004, el protocolo entró en vigor. De todos modos, las tensiones que surgieron desde su génesis, han hecho que los países que más contaminan, sean los que menos cumplan. Estados Unidos, por ejemplo, consume casi el 25% de combustibles fósiles y es el país que mayor cantidad de gases contaminantes libera a la atmósfera. Aunque adhirió en forma simbólica hasta el año 2001 (El presidente Clinton firmó el acuerdo en 1997, pero el Congreso Estadounidense no lo ratificó), se retiró alegando que *“aunque comparte la idea de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, el protocolo es injusto e inequitativo en sus formas, ya que algunos países por su condición de “emergentes” (Como es el caso de China e India) no son obligados a reducir sus emisiones y esto opera en detrimento de su propia economía”*.

Desde el 2005 a la actualidad, los países adherentes a la CMNUCC se han reunido en reiteradas ocasiones, con el objeto de controlar el cumplimiento de los objetivos propuestos e ir planificando acciones futuras. La última reunión se llevó a cabo en junio del 2012 con motivo de cumplirse los 20 años de la cumbre de Río 92. Las expectativas generadas en torno a “Río +20” fueron muy altas, sin embargo, la mayoría de los representantes gubernamentales y de las ONG que participaron, se mostraron disconformes con los resultados obtenidos. *“Los movimientos sociales esperábamos un documento mucho más audaz y ambicioso”*, dijo la antropóloga brasileña Iara Pietrovsky (Coordinadora de la Cumbre de los pueblos), al entregar las conclusiones de los debates de los miles de participantes al secretario general de la ONU, Ban Ki-moon.

La razón de este desencanto radica en que el documento titulado “El futuro que queremos”, no es más que un documento de mínima, que no responde al desafío mundial de considerar en la misma medida el crecimiento económico, la preservación del medio ambiente y la inclusión social. La mayoría de los asistentes responsabilizaron de este fracaso a los Estados Unidos (quién se ha venido negando a aceptar cualquier acuerdo que pueda suponer el menor perjuicio a

su economía), a los países Europeos (quienes han perdido autoridad debido a la crisis económica que afecta a la región) y a China e India (que aunque integran la lista de los diez países que más contaminan, siguen escudándose en su condición de “países emergentes”).

Durante la cumbre, varios mandatarios disertaron y brindaron conferencias, aunque fue la del presidente uruguayo José Mujica una de las más conmovedoras.

“Toda la tarde se ha hablado del desarrollo sustentable. De sacar las inmensas masas de la pobreza. ¿Qué es lo que aletea en nuestras cabezas? ¿El modelo de desarrollo y de consumo, que es el actual de las sociedades ricas? Me hago esta pregunta: ¿qué le pasaría a este planeta si los hindúes tuvieran la misma proporción de autos por familia que tienen los alemanes? ¿Cuánto oxígeno nos quedaría para poder respirar? Más claro: ¿Tiene el mundo hoy los elementos materiales como para hacer posible que 7 mil u 8 mil millones de personas puedan tener el mismo grado de consumo y de despilfarro que tienen las más opulentas sociedades occidentales? ¿Será eso posible? ¿O tendremos que darnos algún día, otro tipo de discusión? Porque hemos creado esta civilización en la que estamos: hija del mercado, hija de la competencia y que ha deparado un progreso material portentoso y explosivo. Pero la economía de mercado ha creado sociedades de mercado. Y nos ha deparado esta globalización, que significa mirar por todo el planeta. (...) No digo nada de esto para negar la importancia de este evento. Por el contrario: el desafío que tenemos por delante es de una magnitud de carácter colosal y la gran crisis no es ecológica, es política.

El hombre no gobierna hoy a las fuerzas que ha desatado, sino que las fuerzas que ha desatado gobiernan al hombre. Por ello digo, en mi humilde manera de pensar, que el problema que tenemos es de carácter político. Los viejos pensadores : Epicúreo, Séneca e incluso los Aymaras, definían: “pobre no es el que tiene poco sino el que necesita infinitamente mucho, y desea más y más”. Esta es una clave de carácter cultural.

Entonces, voy a saludar el esfuerzo y los acuerdos que se hacen. Y los voy acompañar, como gobernante. Sé que algunas cosas de las que estoy diciendo, “rechinan”. Pero tenemos que darnos cuenta que la crisis del agua y de la agresión al medio ambiente no es la causa. La causa es el modelo de civilización que hemos montado. Y lo que tenemos que revisar es nuestra forma de vivir.” (Fragmentos del discurso del presidente de Uruguay, José Mujica)

Si algo se evidenció durante Rio +20, es que aunque todo el mundo desea un planeta más saludable, son pocos los que están dispuestos a resignar algo. Esa preocupación por el cuidado del medio ambiente que hace más de cuatro décadas empujó a las Naciones Unidas a tomar cartas en el asunto proponiendo nuevos escenarios para el desarrollo, fue siendo avasallada por los desaires y desplantes de los mayores contaminadores del planeta. Ese acuerdo que se firmó en el 97 y al que pocos respetaron, es fiel reflejo de que no solo con “buenas intenciones” se solucionan los problemas. Como ya lo hemos visto, los compromisos simbólicos han demostrado tener poco peso.

El ambiente como sujeto de Derecho

“Vendrá el día en que el derecho de la Naturaleza sea, por conciencia de todos y todas, cumplido, respetado y exigido. Y ojala no sea tarde. Todavía estamos a tiempo para que nuestras leyes reconozcan el derecho de un río a fluir, prohíban los actos que desestabilicen el clima de la Tierra, e impongan el respeto al valor intrínseco de todo ser viviente.”¹

El día 28 de septiembre del 2008 y con casi el 65% de votos a favor, fue aprobada por primera vez en la historia una constitución que reconoce al medio ambiente como sujeto de derecho. Paradójicamente, es la constitución de uno de los países menos industrializados y que menos contaminan al planeta. Quizá el hecho de haber establecido vínculos tan estrechos con la naturaleza y de considerarse parte de la misma, haya empujado a más de 70000 ciudadanos ecuatorianos a elevar propuestas para que fuesen contempladas. Desde su preámbulo, esta nueva constitución establece que:

“El pueblo de Ecuador decide construir una nueva forma de convivencia humana en diversidad y armonía con la naturaleza”.

¿Por qué es tan relevante esta nueva mirada? Porque habitualmente los sujetos de derecho somos las personas, los ciudadanos o todos los seres humanos, Desde ese punto de vista antropocéntrico, solo nosotros poseemos el derecho de desarrollarnos en un medio ambiente sano y a quie-

1 <http://www.ambiental.net/opinion/AcostaNaturalezaDerechos.htm>

nes el Estado y sus órganos están obligados a garantizarnos un entorno saludable. Esta novedosa Constitución propone *“poner a salvo a la naturaleza de los seres humanos; de todo aquél que pretenda hacerle daño, incluso en nombre del “desarrollo” y el “progreso”, argumentos esgrimidos para deforestar, cambiar el rumbo de los ríos o cualquier otra actividad económica que atente contra ella”*. El artículo 71 de la constitución ecuatoriana, también dice que *“la naturaleza tiene derecho a ser respetada integralmente en su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos”*. La pregunta obligada entonces es ¿Cómo podrá defenderse la naturaleza ante el incumplimiento de sus derechos? Esta constitución también prevé que *“cualquier persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigirle a la autoridad pública que haga valer los derechos que tiene la naturaleza”*.

La preocupación política y social por el cuidado del medio ambiente en Argentina

Al ser considerada una nación en vías de desarrollo, no estaba obligada a cumplir con las metas cuantitativas fijadas por el protocolo de Kyoto (sus emisiones de gases no superaban el 0.6% de las emisiones mundiales). De todos modos, durante el año 2001 ratificó el acuerdo mediante la ley Nacional 25438 y debido a su condición de adherente, está comprometida a minimizar sus emisiones gaseosas o al menos, no incrementarlas. Es por ello, que durante los últimos diez años se han intensificado los controles de las emisiones industriales y se han instrumentado organismos de control para monitorear las actividades que puedan contribuir a la generación de gases de efecto invernadero. En este punto es importante destacar, que las actividades industriales no son las únicas fuentes que liberan esos gases a la atmósfera. Un alto porcentaje de las emisiones de nuestro país es generado por la basura enterrada en los rellenos sanitarios. Antes de continuar, es preciso definir el concepto de “basura”. En ocasiones, solemos confundirlo con “desperdicio”. Etimológicamente “basura” deriva de “barrer”. Es por ello que cuando hablamos de “basura”, hacemos referencia a aquello que ya no puede brindar ninguna utilidad. Cuando hablamos de “residuo”, en cambio, debemos tener en cuenta que es algo que puede llegar a reutilizarse (sobre esto trataremos más adelante). Podríamos decir entonces que la basura es algo inservible y que necesita ser eliminado. Puede ser orgánica, como los alimentos en descomposición, o inorgánica, como la de los desechos químicos industriales.

Millones de toneladas de basura (que como hemos visto, algunas son en realidad toneladas de residuos) son producidas en las grandes ciudades y enterradas en rellenos sanitarios. La basura orgánica que es enterrada, entra en un proceso de fermentación anaeróbica (en ausencia de oxígeno) y genera grandes cantidades de metano (CH_4), que es uno de los gases responsables del calentamiento global. En la actualidad, casi el 20% de las emisiones de metano de nuestro país provienen de los rellenos sanitarios. En otros países la situación es aún peor, según datos de la *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*, casi el 32% de las emisiones de metano de esa nación provienen de los mismos.

Argentina, Buenos Aires y un fallo histórico

Te agradezco, aunque me voy, avergonzado por ser parte de la especie, que hoy te viola en un patético festín, y aún no te libraste de nosotros, nuestra desidia. Fue por tenerte regalada, el creer que no vales nada. Estás pariendo hijos ciegos, estás cansada².

Como es sabido, la mayor cantidad de basura y contaminantes son producidas en los grandes centros urbanos. La ciudad de Buenos Aires y el conurbano Bonaerense no escapan a esta realidad. Con sus doce millones de habitantes censados, este gran conglomerado poblacional se encuentra en el tercer puesto de nuestro continente, por detrás de las Ciudades de México y Sao Pablo. Es por este motivo, que ante el descontrol generalizado en cuestión ambiental y haciéndose eco de la problemática, durante el año 2006 y según la ley Nacional 26168, se crea un ente interjurisdiccional denominado ACUMAR (Autoridad de la Cuenca Matanza- Riachuelo). A la misma se adhirieron las legislaturas de la Provincia de Buenos Aires y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Según propone la página Web del organismo:

“En el marco de los objetivos del milenio y con el compromiso de las distintas jurisdicciones estatales (Estado Nacional, Provincia de Buenos Aires y Ciudad Autónoma de Buenos Aires), más de 200 personas hoy trabajan con dedicación exclusiva en la gestión de obras de infraestructura y saneamiento, la planificación del ordenamiento del territorio afectado a la cuenca, la

2 Fragmento de la canción “Madre hay una sola”. Bersuit Vergarabat, autor Cordera Gustavo. 2005

evaluación del impacto ambiental, en un intensivo control de la actividad de las industrias y en acciones concretas que permitan prevenir futuros daños, con la firme determinación de alcanzar las metas propuestas.”

Pero fue durante el año 2008, y a raíz de un controvertido fallo judicial conocido como la “Causa Mendoza”, en que se responsabilizó a la ACUMAR del saneamiento de la cuenca Matanza-Riachuelo. Ello hizo que se intensificaran las acciones que dos años antes habían comenzado y se materializaron a través de un trabajo en equipo que involucró a especialistas de la Ciudad de Buenos Aires y de los catorce municipios que integran la cuenca.

El caso de la cuenca Matanza-Riachuelo

La causa se inició en julio de 2004, cuando un grupo de vecinos, encabezados por Beatriz Silvia Mendoza y otras 16 personas, presentaron una demanda reclamando la recomposición del medio ambiente y la creación de un fondo para financiar el saneamiento de la cuenca, responsabilizando de daños y perjuicios a los siguientes actores:

- *El Estado Nacional, la Provincia de Buenos Aires y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.*
- *Cuarenta y cuatro empresas aledañas por volcar directamente al río los residuos peligrosos, por no construir plantas de tratamiento, por no adoptar nuevas tecnologías y por no minimizar los riesgos de su actividad productiva.*

El 20 de junio de 2006, la Corte Suprema de Justicia de la Nación intimó a los demandados a que presenten un plan de saneamiento de la cuenca, y a las empresas a que informen sobre los recaudos que se toman para detener y revertir la contaminación de la zona.

La Corte dividió en varios expedientes el reclamo de los vecinos, uno de ellos fue la indemnización por los daños individuales sufridos por cada uno, para reparar los gastos por tratamientos médicos, daño moral y psíquico y la nueva radicación de las familias. La Corte se declaró competente para estudiar el daño colectivo, es decir, la parte del reclamo que solicita que se recomponga el medio ambiente y se realicen obras de saneamiento. “Tiene una prioridad absoluta la prevención del daño futuro, ya que se trata de actos que seguirán produciendo contaminación. En segundo lugar, debe perseguirse la recomposición de la polución ambiental y, finalmente, para el supuesto de daños irreversibles, el resarcimiento”, dice el Tribunal.

En septiembre de 2006 se realizó la primera audiencia pública ante la Corte, en la que el Gobierno Nacional y los gobiernos de la Provincia de Buenos Aires y de la Ciudad

Autónoma de Buenos Aires presentaron un Plan de Saneamiento del Riachuelo y la creación de un Comité de Cuenca Interjurisdiccional.

En febrero de 2007 se llevó a cabo la segunda audiencia pública, en la que se presentaron los avances logrados desde la presentación del Plan de Saneamiento.

El 08 de julio de 2008 la Corte dictó un fallo histórico en la causa "MENDOZA BEATRIZ SILVIA Y OTROS C/ESTADO NACIONAL Y OTROS S/DAÑOS Y PERJUICIOS (Daños derivados de la contaminación ambiental del Río Matanza-Riachuelo)", donde se determinó quiénes son los responsables de llevar adelante las acciones y las obras de saneamiento, el plazo en que deben ser ejecutadas, dejando abierta la posibilidad de imponer multas para el caso de incumplimiento. Por otra parte, el Máximo Tribunal encomendó al Defensor del Pueblo de la Nación y a las ONG's la conformación de un Cuerpo Colegiado para el control del Plan de Saneamiento.

Fuente: <http://www.acumar.gov.ar>. Consultado: 07/12

Tapados por la basura

El arroyo Ortega parece gambetear caprichosamente las precarias casas que se amontonan contra sus márgenes. Un triste paisaje de plástico, chapa, cartón, humo y madera. Hacinamiento y la más desgarradora de las pobrezas. El color de sus aguas se asemeja a la paleta de un pintor. Tonalidades que se mezclan logrando amalgamas indescriptibles, aunque por momentos emergen reconocibles e intimidantes manchas de color ocre, negro y hasta verde fluo. La basura lo cubre todo. Absolutamente todo.

A unos doscientos metros de las últimas casas se encuentra "La Horqueta". Allí convergen el arroyo Ortega, con el no menos contaminado arroyo Rossi. En el vértice de la Horqueta se erige un vistoso montecito de cañas de Castilla. Juntos, los dos arroyos recorren el último tramo hasta desembocar en la laguna de Rocha. Todo esto es parte de la cuenca "Matanza-Riachuelo", que abarca parte de la capital federal y del conurbano Bonaerense.

Aunque está ubicada en el partido de Esteban Echeverría, podría ser la imagen de cualquiera de los catorce municipios que conforman la cuenca. Espacios donde se funden de manera natural, los seres vivos con la basura. Las bolsas de nylon y los pañales descartables parecen establecer relaciones simbióticas con las acacias caídas. Se pueden observar desde tortugas de río asoleándose sobre montañas de basura, hasta perros nadando con bolsas de residuos entre los dientes.



Figura 4.2 Mapa de la cuenca Matanza-Riachuelo. Fuente: <http://argpatriagrande.blogspot.com.ar/2012/09/cuenca-atanzariachuelo.html>

Las acciones interinstitucionales como alternativa

Con una participación organizada, son diversas instituciones las que trabajan en la zona. Los representantes de Acumar y la subsecretaría de medio ambiente de Esteban Echeverría son quienes coordinan las acciones. Los jefes de cuadrilla de las cuatro cooperativas que participan del saneamiento dirigen a sus grupos y distribuyen las tareas entre quienes manejan las desmalezadoras, recolectan la basura de los márgenes, recogen los desechos de las mangas de contención y cargan los camiones del CEAMSE, que es una sociedad de estado de carácter interjurisdiccional (Entre el Gobierno de la Provincia y el Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires).

Dos buzos profesionales también forman parte del equipo. A bordo de un semirrígido despliegan las mangas de contención, las acomodan y las arriman a la orilla. Aunque el arroyo en esta zona no es profundo (No supera el metro y medio), su lecho es tan viscoso que una persona de setenta kilos puede hundirse casi medio metro más. Los reportes de gente ahogada no son un mito urbano.

Mangas de contención

Las mangas de contención que se utilizan en este caso, están realizadas con materiales similares a los que se usan en la fabricación de los chalecos salvavidas (Poliuretano y polipropileno), de este modo, al ser extendidas en forma perpendicular al sentido de la corriente del arroyo, quedan flotando y ofician de barrera a toda la basura que flota sobre la superficie del agua. Miden veinte metros de longitud. Uno de los extremos se sujeta a un punto fijo fuera del cauce y en el otro extremo se coloca un ancla de arrastre (para mantener la manga en posición). Cuando la basura sobrenadante queda atrapada en la manga, los buzos levantan el extremo del ancla y “barren” todos los desechos hasta la orilla, donde son retirados y embolsados por los cooperativistas).

Dieciséis asistentes sociales tienen una ardua tarea. Estudiar la situación socioeconómica de cada familia y designar a quienes serán los beneficiarios del nuevo plan de viviendas que pretende alojarlos. La idea es trasladar a las familias que se encuentren en las situaciones más vulnerables. Otra de sus funciones es ejecutar una campaña de concientización sobre el cuidado del medio ambiente y la salud. Según su coordinadora, la Dra. Verónica Gutiérrez:

“Casi toda esta gente vive de la basura. Son cartoneros o botelleros y depositan lo que recolectan en los patios de sus casas. Es el único paisaje que conocen y para ellos es lo más natural, ya que nacieron y crecieron en este lugar. La mayoría se resiste a abandonar el barrio y cuando lo hacen, les cuesta muchísimo adaptarse a su nuevo hogar. Muchas veces, después de un tiempo, regresan y vuelven a establecerse en este mismo barrio”

Los estudiantes de la “Tecnatura Superior en Gestión Ambiental y Salud” del Instituto Superior de Formación Docente N°35 de Monte Grande, también colaboran del saneamiento de la cuenca. Mediante un convenio que se estableció entre la Subsecretaría de Medio Ambiente de Esteban Echeverría y el ISFDyT N°35, los alumnos de la carrera desarrollan pasantías de cara a su futuro desempeño profesional realizando diversas actividades. Estudian las características físico-químicas de los espejos de agua (Para ello toman muestras y las analizan en el laboratorio del Instituto), realizan informes de Gestión Ambiental, evalúan casos de impacto ambiental, proponen métodos de remediación para los impac-

tos detectados y realizan campañas de concientización. Actualmente, los estudiantes están relevando las especies vegetales, con el objeto de confeccionar una guía que les permita a los cooperativistas reconocer las plantas que se encuentran en los márgenes. Las fotografían, identifican y realizan una breve descripción. Aunque no existe un criterio taxativo sobre cuáles son los ejemplares que es conveniente retirar (Ninguna de las especies de la zona se encuentra protegida), se optó por quitar a los árboles caídos que oficien de barrera a la circulación de las aguas (de esta forma se evita que la basura quede estancada y se produzcan desbordes e inundaciones). Los docentes y alumnos de la carrera también brindan capacitaciones a los integrantes de las cooperativas, para que puedan reconocer a las especies identificadas y adoptar los criterios más adecuados para la extracción de los ejemplares comprometidos o realizar podas selectivas.

¿A qué llamamos Impacto ambiental?

Se conoce como "Impacto ambiental" a la alteración de las condiciones ambientales, como consecuencia de la actividad humana o por causas naturales. Un impacto ambiental puede clasificarse de acuerdo al momento en que se manifiesta (Latente o inmediato), según la necesidad de aplicar medidas de mitigación (Moderado, severo o crítico), el alcance espacial (Local, regional o global), su alcance temporal (Transitorio o permanente), su posibilidad de recuperación (Fugaz, recuperable, mitigable o reversible) y su efecto (Positivo o negativo).

Toda la basura que es recolectada durante el saneamiento es embolsada y cargada en camiones transportadores de residuos. El transporte, tratamiento y disposición final, corren por cuenta de la CEAMSE, La cantidad de basura que se retira diariamente de esta zona es impresionante y merece una reflexión, ya que la que aquí se ve, es solo una insignificante fracción de las miles de toneladas que son generadas diariamente en todo el corredor urbano. Lo cierto es, que toda la basura de la Ciudad de Buenos Aires y del Gran Buenos Aires, va a parar a una serie de rellenos sanitarios que se encuentran distribuidos en la Provincia de Buenos Aires y que ya han llegado al punto de saturación.

En Julio del 2012 y a raíz de esta problemática, se produjeron serios cruces entre los representantes de los gobiernos de la Ciudad y la Provincia de Buenos Aires, ya que el gobernador de la provincia, Daniel Scioli, puso un plazo para li-

mitar el ingreso de los residuos que la Ciudad de Buenos Aires envía a territorio Bonaerense. A través de una resolución del Organismo Provincial de Desarrollo Sustentable (OPDS) intimó a la CEAMSE a que “en 30 días arbitre los medios necesarios para cumplir” con la ley de Basura Cero (1854). De acuerdo a esa norma, la Ciudad de Buenos Aires debería tratar los residuos industriales antes de enviarlos a territorio provincial y enviar a disposición durante el 2012, el equivalente al 50% de la basura que envió durante el 2004, en el que fueron a parar a los rellenos sanitarios más de ¡Un millón quinientas mil toneladas!

Ley de basura cero

Esta ley (1854) fue promulgada durante el año 2006 y tiene como objetivo principal, reducir la cantidad de residuos sólidos urbanos (de este modo se eliminarían en forma progresiva los rellenos sanitarios). También promueve la adopción de medidas que permitan reducir la generación de basura, el reciclado de los residuos, la disminución de la toxicidad de los desechos y establece que el fabricante debe asumir la responsabilidad sobre sus productos.

En el marco de esta ley, fue creada la Dirección General de Reciclado de la Ciudad de Buenos Aires, quién se encarga de la gestión integral de los residuos. Algunas de las acciones que están llevando a cabo son la concientización de la población (para que conozca las ventajas de separar los residuos en origen, diferenciando entre basura y reciclables), la formalización de los recuperadores urbanos en el circuito de servicio público y los proyectos ambientales que promuevan la puesta en marcha de sistemas de reciclado de residuos.

Las metas que propone esta ley contemplan la reducción progresiva de desechos, en comparación con los que fueron enviados a los rellenos sanitarios durante el 2004. Se ha establecido también, que para fines del 2012 la reducción deberá ser del 50% y para el 2017, del 75%.

Perspectivas a futuro sobre la preservación del medio ambiente

Por lo que hemos visto el panorama actual no es alentador. Los países industrializados siguen emitiendo cantidades ingentes de gases a la atmósfera, las grandes ciudades generan basura que ya no saben donde enterrar, las medidas de mitigación son insuficientes para los impactos detectados y el poder económico sigue determinando el rumbo de la conciencia ecológica. De todos modos, hemos

sido testigos que durante los últimos años la preocupación colectiva por el cuidado del medio ambiente se ha ido intensificando. Miles de ONG de todo el mundo se manifiestan y cada vez son más los ambientalistas que participan en forma activa de diversas acciones que tienen relación al cuidado del medio ambiente. Hemos visto también que esta preocupación se ha instalado en el ámbito político y que en algunos casos (Como el de Ecuador) la protección del medio ambiente ya no está determinada por el daño que el ambiente puede producir sobre la salud humana, sino por los daños que pueda sufrir el medio ambiente en sí mismo.

Aunque no podemos decir que la situación actual de nuestro país en relación al cuidado ambiental sea óptima, podemos afirmar que durante las dos últimas décadas se han comenzado a evidenciar tangibles indicios de un futuro promisorio. Habría que mencionar, por ejemplo, las exigencias que deben cumplir las Industrias para producir (no superar los límites establecidos de emisiones, tratar las aguas antes de volcarlas a la red cloacal, poner a disposición del CEAMSE los residuos sólidos tratados, etc.), la implementación de políticas que promuevan la concientización de la población (clasificación de los residuos domiciliarios, utilización de medios de transporte saludables, etc.), el apoyo financiero y logístico de proyectos que favorezcan el desarrollo económico de los ciudadanos con actividades ligadas al cuidado del medio ambiente (formalización de los recicladores, instalación de plantas de reciclados, implementación de fuentes de generación de energías alternativas, etc.) y la inclusión de la “educación ambiental” en la ley de Educación Nacional (Ley 26.206) como uno de los ejes vertebradores para la formación integral de todos los ciudadanos argentinos que transiten ámbitos escolarizados.

Lo cierto es que son múltiples las actividades humanas que impactan sobre el ambiente, y lamentablemente, los ciudadanos comunes poco podemos hacer para evitar a algunas de ellas. Con frecuencia modificamos actitudes, convencidos que ese acto de altruismo se erigirá como disparador de la conciencia colectiva (al comentarle a un amigo, por ejemplo, que no tire las pilas en las bolsas de residuos), pero terminamos totalmente frustrados al comprobar que acabamos con dos botellas plásticas llenas de pilas y no sabemos qué hacer con ellas. Debemos afrontar situaciones como estas con frecuencia, ya que aunque somos testigos de este nuevo modo de vida que recién se está comenzando a gestar, nos adaptamos de manera gradual.

Actualmente existen muchísimos proyectos ligados al cuidado del medio ambiente y es sumamente importante que los conozcamos para poder participar de manera activa. Veamos algunos ejemplos.

Es muy probable que cuando hicimos hincapié en la importancia de clasificar la basura domiciliar (que es algo que sí podemos realizar) haya surgido la siguiente pregunta ¿Cuál es la finalidad, si después termina toda junta en un relleno sanitario? Para dar respuesta a esta problemática, una Asociación Civil denominada “¿Dónde reciclo?”, tuvo una fabulosa idea. Desarrollaron una poderosa herramienta virtual que permite relacionar a quienes toman el compromiso de separar los residuos, con los encargados del reciclaje. A través de esta página (<http://www.dondereciclo.org.ar>), uno puede ingresar el domicilio donde reside y seleccionar los residuos que dispone para reciclar, y la plataforma nos indica los lugares de reciclado más próximos (dirección, teléfono y la forma de llegar). También nos permite agregar nuevos centros de reciclado. Actualmente se encuentran cargados en la página, más de 1600 centros de reciclado de todo el país.

Otro proyecto ligado a la optimización de recursos y al cuidado del medio ambiente es el que se ha dado en llamar “mi huella de carbono”. Es sabido que toda actividad humana impacta sobre el ambiente. También sabemos que actividades tan simples como viajar en automóvil o consumir energía eléctrica (en nuestro país el 57% de la energía eléctrica generada es producto de centrales termoeléctricas abastecidas por combustibles fósiles), liberan gases de efecto invernadero (GEI). *“Esta huella se determina según la cantidad de gases de efecto invernadero producidos por la actividad humana, y se expresa en unidades equivalentes de dióxido de carbono (CO₂)”,* explica Alejandra Scafati, especialista en sustentabilidad. Completando un simple cuestionario podemos conocer cuánto carbono liberamos a la atmósfera, cuáles son las acciones que lo producen y que podemos hacer para reducirla. En la Argentina, el promedio por persona es de 5.71 (tn), siendo un valor levemente superior al promedio mundial que es de 4 (tn) al año. Algo que no debería llamarnos la atención, es saber que los países más “desarrollados” son los que presentan los promedios más altos. En el Reino Unido, por ejemplo, es de 11.85 (tn) y en Estados Unidos 20 (tn) al año.

Para conocer nuestra “Huella de carbono” podemos ingresar a <http://www.ambiente.gov.ar>

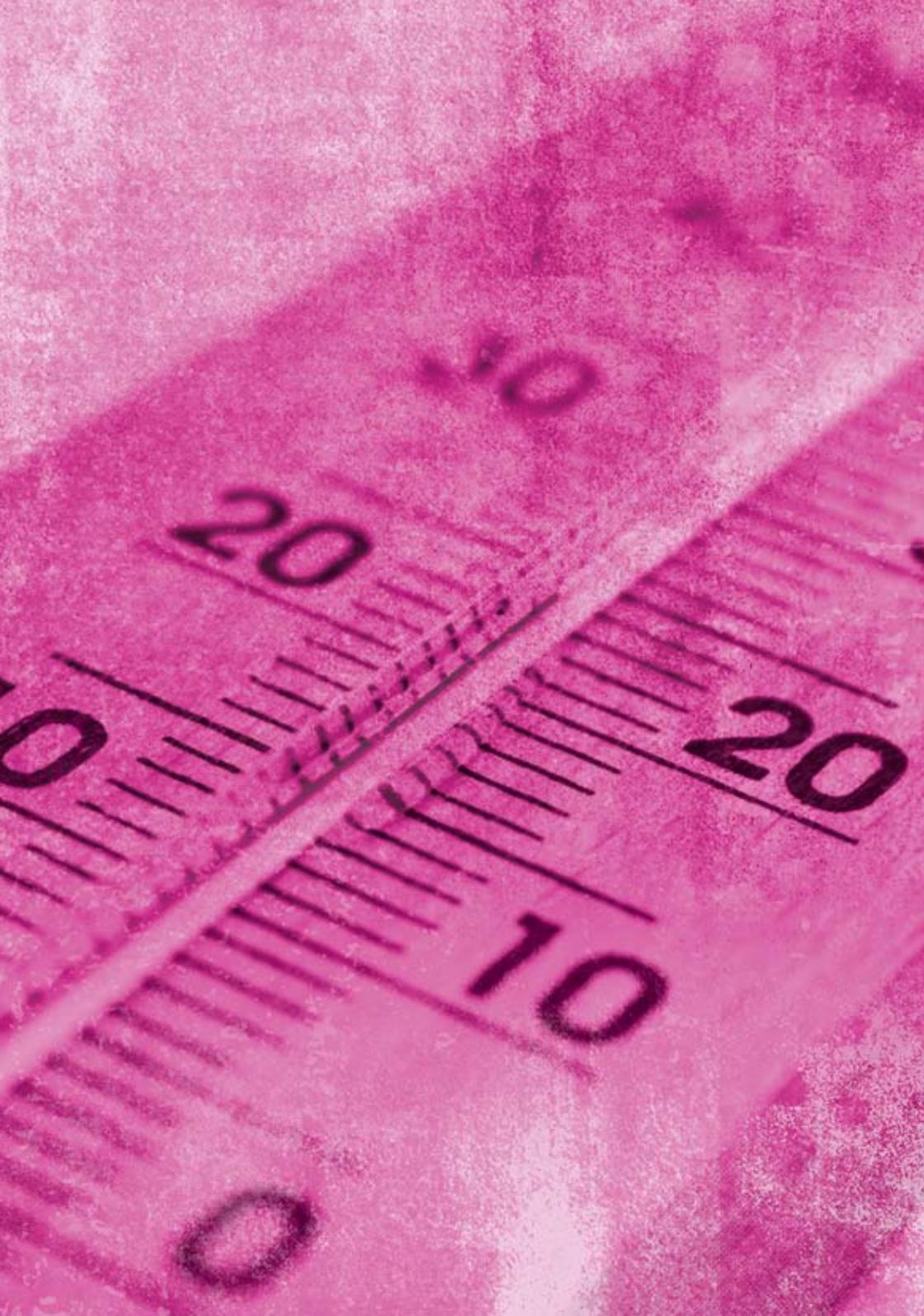


Figura 4.3 "Huellas de carbono". Fuente <http://blogdetijuana.blogspot.com.ar/2009/05/tu-huella-de-carbono.html>

¿Cómo sigue esta historia?

Ya ha quedado claro que tanto el Metano, como el Dióxido de carbono, se encuentran entre los gases de efecto invernadero que más se emiten a nivel mundial y sus efectos podrían llegar a alterar el ciclo climático. Sin intención de demonizar a estos gases (que no son más que simples estructuras moleculares), se deben establecer diferentes grados de responsabilidad entre quienes los producen. Atravesamos un momento en la historia de nuestro planeta, en que es necesario dejar de lado este anarquismo ecológico y son los estados quienes deben afrontar sus responsabilidades, adoptando medidas globales y concretas para preservar el medio ambiente. Al decir del Juez Eugenio Zaffaroni (2011)

La especie humana no podrá evitar peores consecuencias si no comienza a operar tomando en serio el principio de cooperación universal, en sintonía con el curso de la vida planetaria. Dicho más claramente: es verdad que cualquier hipótesis de catástrofe plantea una cuestión de seguridad nacional –en el sano sentido de la expresión–, pero no se puede ignorar que por sobre está seguridad se está jugando con la seguridad planetaria. (p. 140)



CAPÍTULO V

Aportes para una didáctica del Cambio Climático

María Josefa Mandón- Santa Recalde

Hemos señalado en este texto cómo el Cambio Climático ocasiona un calentamiento global que afecta a toda la humanidad, a la biodiversidad y al equilibrio climático del planeta, y genera cambios que involucran las relaciones sociales los estilos de vida. Posee además, como tema de estudio, un papel protagónico en la comunidad científica y en las reuniones políticas a nivel global. ¿Podría entonces esta problemática estar fuera del sistema educativo, del currículo escolar?

El vocablo “Cambio Climático” es una expresión reciente, y al leer este libro encontramos que, además, es una temática compleja que amerita la participación de varias disciplinas para su tratamiento en el aula, como por ejemplo, la Biología, la Climatología, la Ecología la Física y la Geografía. Pero cada experto en particular, tiene un punto de vista diferente condicionado por su formación. Entonces ¿es posible enlazar estos conocimientos fraccionados para construir un saber general? ¿Cómo enseñar un tema tan amplio e interdisciplinar?

La enseñanza del Cambio Climático presenta obstáculos pero también ofrece oportunidades para generar conocimiento. Es necesario visualizar la relevancia de esta temática desde la perspectiva social, tecnológica, científica y curricular y potenciar las inteligencias múltiples (al decir de Gardner) a partir de secuencias didácticas motivadoras, articulándolas con las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), que presentan una amplia gama de posibilidades, herramientas y dispositivos para el aprendizaje significativo. A partir de los aportes de las didácticas de las Ciencias Naturales es posible recrear una didáctica específica que apunte a provocar no sólo un aprendizaje teórico, sino articulado con la práctica.

Como docentes del siglo XXI, debemos asumir que nuestro rol y el de los estudiantes han cambiado. Una de las razones de este cambio es el continuo avance de las TIC, las que han modificado profundamente las prácticas pedagógicas. Los estudiantes nacieron con las herramientas de las tecnologías, formando parte de sus vidas cotidianas. Son los llamados *nativos digitales*. Por otro lado, la mayoría de los docentes somos *inmigrantes digitales*, es decir, que debemos adaptarnos a este ambiente desconocido pero necesario para la formación docente y el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Educar para la ciudadanía

La responsabilidad ciudadana sobre un ambiente sano es impostergable y por ello es fundamental una ciudadanía activa y crítica. La participación ciudadana se construye desde la niñez y la adolescencia y el sistema educativo tiene un rol fundamental en este sentido. El Principio 10 de la Declaración de Río de Janeiro dispone que: *“El mejor modo de tratar las cuestiones ambientales es con la participación de todos los ciudadanos interesados en el nivel que corresponda. En el plano nacional, toda persona deberá tener acceso adecuado a la información sobre el medio ambiente de que dispongan las autoridades públicas, incluida la información sobre los materiales y las actividades que encierran peligro en sus comunidades, así como la oportunidad de participar en los procesos de adopción de decisiones. Los Estados deberán facilitar y fomentar la sensibilización y la participación de la población poniendo la información a disposición de todos”*. Los estudiantes deben ser partícipes responsables de la construcción de una ciudadanía ambiental, mediante aprendizajes que les posibiliten participar y decidir respecto de situaciones y acciones vinculadas al ambiente, el territorio y la sociedad que quieren para vivir y para ser.

Por ello, el abordaje de la problemática del cambio climático como parte de la problemática ambiental no debería circunscribirse a un mero enfoque cientifista sin considerar el insoslayable marco contextual donde se desenvuelve, en la medida en que ello implicaría el riesgo de no visualizar las efectivas soluciones en la materia. Cabe entonces ensayar diferentes perspectivas de análisis, ya que los problemas ambientales se originan por la concurrencia de múltiples causas y factores biológicos, físicos, climáticos, geomorfológicos, sociales, económicos, culturales y legales, entre otros.

El marco de la Educación Ambiental

La *Educación Ambiental para la Sustentabilidad* ofrece un marco al debate sobre la enseñanza del Cambio Climático. Esta tendencia de la EA surge en la década de los 90 cuando comienza a evidenciarse que el deterioro y pérdida de la calidad socioambiental está relacionada con la sobreexplotación de los recursos naturales y con la marginación de amplios sectores sociales; esta toma de conciencia interpela a los modelos de desarrollo, y lleva a los sectores ambientalistas a tomar posicionamientos más críticos que cuestionan los modelos de desarrollo y su relación directa con la crisis socioambiental.

En este marco emerge el concepto de Desarrollo Sustentable que propone: orientar al desarrollo considerando la conservación de la base de recursos naturales y culturales, el mantenimiento de una calidad ambiental según los diferentes requerimientos sociales, y la igualdad de acceso a los recursos para las generaciones presentes y futuras. La fidelidad a estos principios genera tensiones y debates ya que afecta de diferente manera a intereses de sectores concretos, con diferentes posicionamientos ideológicos y políticos.

Dentro de este enfoque, la Educación Ambiental para la Sustentabilidad debe promover experiencias de aprendizaje que permitan reconocer la complejidad de las problemáticas ambientales, caracterizar sus componentes y actores, sus interacciones, su dinámica, promoviendo la participación activa y solidaria en la búsqueda de soluciones a los problemas planteados. En el ámbito educativo, en general se asume que la Educación Ambiental implica un proceso de enseñanza de carácter interdisciplinario donde se reconocen valores, se construyen conceptos y se desarrollan habilidades para una interacción sustentable entre las sociedades y la naturaleza.

Las complejidades del tratamiento del Cambio Climático

En este texto se menciona como la Tierra ha cambiado a lo largo de su historia, ha sufrido transformaciones ecológicas, climáticas biológicas y geológicas. Diferentes procesos y variables internas y externas del funcionamiento de la Tierra dieron origen a estos cambios. Es de esperarse, entonces, que estos factores aún pudieran ser responsables del Cambio Climático presente. Los sistemas que forman parte del planeta están conectados, presentan relaciones complejas generando reacciones en cadenas, retroalimentaciones positivas o negativas, y per-

manejando constante el fenómeno causa- efecto-consecuencia.

Según Pedrinaci (2008) la temática del Cambio Climático nos presenta un escenario con características singulares:

- Desde la perspectiva científica, el cambio global es un problema complejo cuyo análisis y tratamiento supera los márgenes estrictos de las disciplinas clásicas, exigiendo colaboración interdisciplinaria y enfoques holísticos.
- Desde la perspectiva tecnológica, plantea retos relacionados con la utilización de las energías renovables, con la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, con el uso de sumideros para estos gases, con la mejora en la eficiencia energética de edificios, automóviles, electrodomésticos, etc.
- Desde la perspectiva social, es un problema que afecta a toda la humanidad, que evidencia los desequilibrios norte-sur, que cuestiona nuestros modelos de vida y aconseja la adopción inmediata de medidas, algunas de las cuales pueden resultar dolorosas.
- Desde la perspectiva curricular, es un contenido novedoso que se “cuela” en unos programas de enseñanza esclerotizados por los que pasan las décadas sin que apenas se enteren de los cambios ocurridos en la ciencia y en la sociedad.

El conocimiento y análisis de estas dimensiones nos ubica en la complejidad del abordaje temático para estar alertas en cuanto a no simplificar la enseñanza y avanzar en algunas precisiones sobre cómo enfocar la dimensión educativa del Cambio Climático.

Sobre el qué enseñar

El cuadro 5.1 muestra un Mapa Conceptual con las interrelaciones de los diferentes factores que inciden en la problemática del Cambio Climático (Sóñora et al., 2009)

Analizando este cuadro es posible identificar las “Ideas – Fuerza” que acotan el campo conceptual y guiarán el abordaje de las problemáticas relacionadas con el Cambio Climático.

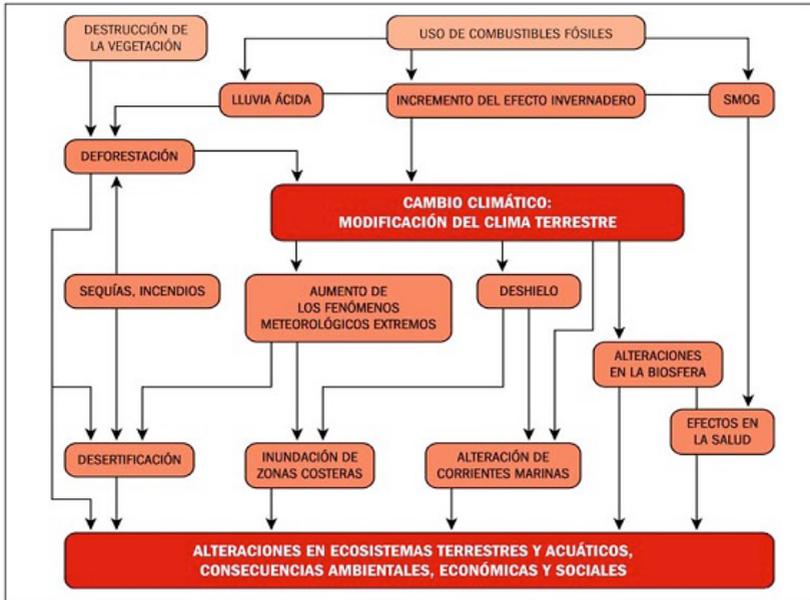


Figura 5.1 Mapa conceptual. Mapa conceptual con las interrelaciones de los diferentes factores que inciden en la problemática del Cambio Climático. Fuente: Sonora et al., 2009.

Propósitos de la Enseñanza

A continuación se detallan algunos de los propósitos de enseñanza que orientan el abordaje de las temáticas vinculadas al cambio climático:

- Motivar al alumnado para lograr una toma de conciencia sobre los alcances y limitaciones del fenómeno denominado Cambio Climático, de los factores que lo determinan y su relación con la actividad y responsabilidad humana.
- Suscitar la reflexión crítica ante las diversas opiniones que circulan en el ámbito sociopolítico y tecnocientífico.
- Provocar no sólo un aprendizaje teórico, sino articularlo con la práctica para crear un impacto socio comunitario.
- Visualizar la relevancia de esta temática desde la perspectiva social, tecnológica, científica y curricular.
- Potenciar el aprendizaje significativo a partir de secuencias didácticas motivadoras, articulándolas con las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

¿Qué obstáculos presenta la enseñanza del Cambio Climático en el aula?

La cascada de información

Sabemos que hoy existe mucha información referida al Cambio Climático circulando en diferentes ámbitos. En la web, encontramos a los escépticos del Cambio Climático, los informes del IPCC, las entrevistas a diferentes exponentes del tema, y más de 2 millones de resultados obtenidos al escribir ésta palabra en los buscadores de internet, (información que puede o no ser relevante). Es por ello que, como primer objetivo del proceso de enseñanza aprendizaje, debemos transformar la información en conocimiento ¿Cómo? Partiendo de una búsqueda, identificación y selección de la información, que despierta en el alumno *“procesos cognitivos y habilidades mentales complejas tales como: abstracción, descontextualización, generalización, aplicación a contextos diferentes, entre otras cosas”* (Batista y Celso, 2007). Para ello presentamos algunas estrategias sencillas pero, interesantes y prácticas.

Para el tratamiento de la información en la web, podemos citar los criterios que definen si un sitio es confiable o no, por ejemplo:

- La autoridad: está dada por los responsables del sitio. Deben figurar en forma explícita, los nombres de estos autores y/ o instituciones.
- La legibilidad: para que exista comprensibilidad, tiene que haber una armonía de colores, tamaño de letras, gráficos, estilos, etc.
- La organización: los contenidos deben ser claros y concisos, con títulos, subtítulos, índices, etc.
- La actualidad: contar con información real, vigente y válida, con actualización periódica y permanente.
- La adecuación al destinatario: los recursos han de estar acordes con las edades de nuestros alumnos, adecuados al nivel de enseñanza de los mismos.

Una vez identificada la información relevante, el contenido debe ser organizado. Pero ante todo merece una reflexión, a través de la cual se visualicen los interrogantes más importantes a ser disipados y se genere un desarrollo jerárquico que facilite el tratamiento de los tópicos. Es importante también elaborar un *mapa conceptual*, relacionando los conceptos a fin de obtener una visión global. En correlación con las TIC, podemos encontrar programas elaborados para la realización de esta estrategia, por ejemplo: <http://cmaptools.softonic.com> ¿te animas a intentarlo?

Percepción y comprensión sobre el tiempo y el clima

La temática del clima y el cambio climático como objeto de conocimiento presenta dificultades para su percepción y comprensión para la mayoría de la población en general y el estudiantado en particular. Meira (2008) plantea que «existen barreras de representación social del Cambio Climático, tales como su carácter contraintuitivo, relativo a que la capacidad sensorial del ser humano es incapaz de captar cambios a escala de decenios, por lo que no puede percibir el cambio del clima». Se percibe el tiempo atmosférico y sus anomalías se interpretan como evidencias del cambio climático. Otras barreras son la dificultad para entender la atmósfera como sistema frágil, o para percibir las relaciones causa-efecto entre nuestras acciones individuales y colectivas, y sus consecuencias en el Cambio Climático. Estudios como el Eurobarómetro de Andalucía (IESA-CSIC, 2007) muestran la dificultad de la población para definir el cambio climático, sus causas y consecuencias. Según Aguado (2007), «existe un conjunto de rumores, bulos e hipótesis que unas veces están plenamente justificados y otras carecen de cualquier base científica». En el mismo sentido, Vide (2009) propone un decálogo del cambio climático, compuesto por diez afirmaciones y diez argumentos falsos, que ven el problema desde diferentes vertientes, tales como la climatológica, química, psicológica y periodística. Más adelante se propone el uso de este Catálogo.

Organizando el panorama

Ante este panorama, el tratamiento didáctico del Cambio Climático requiere de variados aportes para su organización. Antonio de Pro. (2011) cita los siguientes objetivos de aprendizaje para adquirir competencias en la cultura científica y técnica, que fija el Informe PISA¹:

1 El Informe del Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes o Informe PISA por sus siglas en inglés (Programme for International Student Assessment) se basa en el análisis del rendimiento de estudiantes de 15 años, a partir de unos exámenes mundiales que se realizan cada tres años y que tienen como fin la valoración internacional de los alumnos. Este informe es llevado a cabo por la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico).

IDENTIFICACION DE CUESTIONES CIENTÍFICAS	EXPLICACIÓN CIENTÍFICA DE FENÓMENOS	UTILIZACIÓN DE PRUEBAS CIENTÍFICAS
<p>Reconocer cuestiones investigables desde las ciencias. Utilizar estrategias de búsqueda de información científica, comprenderla y seleccionarla.</p> <p>Reconocer los rasgos de la investigación científica (relevancia, variables, diseño de experiencias, realización).</p>	<p>Aplicar los conocimientos de las ciencias a una situación determinada.</p> <p>Describir o interpretar fenómenos y predecir cambios. Reconocer descripciones, explicaciones y predicciones pertinentes.</p>	<p>Interpretar pruebas científicas, elaborar y comunicar conclusiones.</p> <p>Argumentar en pro y en contra de conclusiones, e identificar los supuestos, pruebas y razonamientos en la obtención de las mismas.</p> <p>Reflexionar sobre implicaciones sociales de los avances científicos y tecnológicos.</p>

Además, se espera que los y las estudiantes desarrollen competencias para:

- Utilizar modelos predictivos para el análisis de fenómenos climáticos teniendo en cuenta distintas variables y los impactos sociales y naturales.
- Plantear problemas y explicaciones provisorias desde los conceptos y procedimientos propios de las Ciencias.
- Planificar y llevar a cabo investigaciones sobre su entorno natural y social, que impliquen control de variables y cuantificación de datos.
- Selección, uso y análisis de distintas técnicas de registro, organización y comunicación de la información.

Este cuadro nos puede orientar acerca de la enseñanza del cambio climático, ya que es posible diseñar diferentes estrategias para lograr estas capacidades y competencias científicas. A continuación, se dan algunas orientaciones en este sentido.

Organización didáctica

Uno de los desafíos con los que hoy nos encontramos a la hora de trabajar temas y problemas relacionados con el cambio climático, es el de facilitar espacios reales de discusión y participación en el aula. Reconociendo que allí circulan saberes particulares sobre estas problemáticas, es que debemos centrar nuestras estrategias en un proceso participativo entre docentes y alumnos.

Para que estas estrategias permitan un acercamiento gradual a un nuevo objeto de conocimiento debemos garantizar el pasaje por tres momentos:

Estrategias de problematización inicial:

Presentación de situaciones problemáticas mediante recursos didácticos tales como relatos, fotografías, películas, etc.

Estrategias para promover procesos de presentación y revisión de contenidos, a través de: *La expresión de ideas previas. (Indagación sobre lo que se sabe acerca de un problema y qué se necesitaría saber).*

La reflexión sobre los conocimientos que poseen los jóvenes.

La presentación de contenidos mediante esquemas, organizadores, mapas conceptuales, etc.

La presentación de actividades que impliquen la modelización de los fenómenos que se aborden.

Estrategias para promover procesos de análisis:

Lectura de textos para su posterior interpretación grupal, en un diálogo abierto.

Lectura de textos para su posterior interpretación grupal de acuerdo con consignas de análisis provistas por el docente.

Lectura de textos y resumen de ideas-claves en un gráfico, esquema, cuadro sinóptico, etc. Respuesta a cuestionarios y diseño de ficheros temáticos.

Algunas estrategias de aprendizaje

Actividades de investigación e intercambio

En el cuadro siguiente se presentan las diez temáticas planteadas por Vide (2009) ordenadas según las Verdades y Mitos. Cada una de estas temáticas puede ser trabajada en el aula desarrollando un proceso investigativo en el cual el estudiantado confronte ambas categorías: Verdad y Mito para construir conocimiento alrededor de la dialéctica que plantea el Cambio Climático en toda su complejidad.

CAMBIO CLIMÁTICO

Temática	Verdades	Mitos
1. La variabilidad del tiempo y el clima;	1. La variabilidad temporal es una de las características esenciales del sistema climático.	1. El tiempo (hoy) está loco.
2. Los cambios climáticos en el planeta;	2. A lo largo de la historia geológica del planeta ha habido cambios climáticos numerosos y de notable magnitud.	2. El calentamiento actual forma parte de uno de los ciclos climáticos que sufre periódicamente el planeta.
3. Los datos paleoclimáticos;	3. La brevedad de las series meteorológicas instrumentales para el análisis de las variaciones y tendencias climáticas obliga al uso de proxy-data.	3. No podemos conocer el clima del pasado.
4. La composición química de la atmósfera;	4. La composición química de la atmósfera se ha modificado desde el comienzo de la Revolución Industrial por causa antrópica.	4. El incremento del CO2 atmosférico se debe a las erupciones volcánicas.
5. La evolución reciente de la temperatura;	5. La temperatura media global ha aumentado 0,74°C durante el último siglo (1906-2005).	5. El aumento de apenas 1°C en la temperatura planetaria en los últimos 100 años es irrelevante.
6. Los riesgos climáticos;	6. Las anomalías y los episodios meteorológicos extremos no tienen que ver con el cambio climático, aunque éste producirá, probablemente, un aumento e intensificación de los mismos.	6. Las sequías y las lluvias torrenciales son expresión del cambio climático.
7. La percepción climática;	7. La percepción climática difiere a menudo de la realidad climática, por lo que los presuntos cambios climáticos "percibidos" casi nunca cuentan con el aval de los registros instrumentales.	7. Basta con la percepción del ciudadano para darse cuenta de que el clima ya ha cambiado.
8. El cambio climático como problema global;	8. El cambio climático antrópico es uno de los pocos asuntos que afecta y ha de interesar a toda la humanidad.	8. El cambio climático es un asunto exclusivamente ambiental.
9. El tratamiento del cambio climático por los medios de comunicación; y	9. El cambio climático reúne las condiciones de tema "estrella" para los medios de comunicación.	9. Los medios de comunicación realizan un tratamiento exagerado y catastrofista del cambio climático.
10. Las incertidumbres sobre los escenarios climáticos futuros.	10. Las incertidumbres sobre los efectos del cambio climático requieren su consideración como área prioritaria de investigación.	10. Si no podemos predecir el tiempo de dentro de un par de meses, cómo vamos a saber cómo será el clima a mediados o finales de siglo.

Las experiencias de Laboratorio

“... en el laboratorio no podemos reproducir exactamente las condiciones naturales del planeta, ni la complejidad de los procesos terrestres, ni mucho menos los fenómenos que trascurren en periodos de tiempo de una cierta duración. ¿Qué podemos hacer entonces en relación al estudio del cambio climático y otros impactos ambientales?” (Sóñora et al., 2009).

Si atendemos a la frase anterior cabe la pregunta de si es posible realizar los clásicos trabajos de laboratorio para abordar la enseñanza del cambio climático. La respuesta es que sí es posible realizar experiencias y que su fundamento es que promueven la capacidad de modelización de los fenómenos naturales. A continuación se citan algunas experiencias modificadas de Sóñora (2009).

Experiencia sobre atmósfera, agua y energía solar: corrientes de convección

Objetivos: Comprender cómo el desigual calentamiento de la superficie terrestre por la radiación solar provoca la formación de corrientes convectivas en atmósfera y océanos, que redistribuyen y equilibran la temperatura de la Tierra. En esta sencilla demostración práctica se evidencia algo tan intuitivo como la convección: las corrientes cálidas son ascendentes y las frías descendentes. La comprensión de este mecanismo de circulación facilitará que el estudiante valore la importancia de la transferencia de calor en el sistema climático.

Materiales

- Cera derretida
- Cubitos de hielo
- Agua
- Permanganato potásico
- Recipiente de vidrio resistente al calor
- Fuente de calor (suave)

Desarrollo: Se coloca el permanganato potásico en el fondo de un recipiente de vidrio térmico y se cubre con parafina fundida. A continuación se llena el recipiente con agua y se coloca una cantidad de hielo que cubra la superficie y se coloca al fuego. Al poco tiempo y debido al color aportado a la corriente por el permanganato, se observa cómo una corriente de color rojo asciende en la parte

central del recipiente, y al encontrarse con el hielo, se desliza horizontalmente y comienza a descender.

Una vez visualizadas las corrientes convectivas en el agua, se buscará que el alumnado traslade este comportamiento a otro fluido: el aire, para relacionarlo con la circulación general de la atmósfera. Para ello se fabrica un pequeño molino o serpentina de papel y se coloca sobre una fuente de calor observándose que el aire caliente se eleva y mueve las aspas del molino o la serpentina.

Experiencia en relación a la radiación y el albedo

La radiación solar que llega a la superficie terrestre puede ser absorbida o reflejada, siendo la energía absorbida la responsable del calentamiento del planeta, de manera que existe una relación directa entre color y absorción. Mediante esta experiencia se evidencia la relación entre radiación solar, absorción y calentamiento. En esta práctica se comprueba cómo el negro es el color que más radiación absorbe frente al blanco, que es el que más refleja. Se propone para estudiantes entre 11 y 16 años.

Materiales

- 3 vasos de precipitado: uno forrado de blanco, otro forrado de negro, el tercero sin cubrir.
- Agua
- 3 Termómetros

Desarrollo: En la práctica se comprueba cómo el negro es el color que más radiación absorbe frente al blanco, que es el que más refleja. Para comprobarlo utilizaremos dos vasos de precipitado, uno de ellos pintado o forrado de papel negro, con la misma cantidad de agua a idéntica temperatura. Tras unos minutos expuestos a la luz solar podremos constatar la diferencia de absorción y, por tanto, de temperatura.

Otra propuesta experimental que evidencia el efecto del albedo consiste en colocar un cubito de hielo encima de tres cuadrados de cartulina de diferentes colores (negro, blanco y rojo por ejemplo) y observar el orden en que se van fundiendo. Podemos aprovechar esta actividad para simular un invernadero. Para ello añadiremos un tercer vaso de precipitados con agua cubierto con un recipiente de vidrio o bolsa de plástico, y mediremos su temperatura. Es interesante reflexionar con los alumnos sobre las diferentes adaptaciones de la humanidad a la cantidad de radiación recibida según latitud, y su demostrada eficacia en la vida cotidiana (construcción tradicional, modo de vida, vestimenta).

Experiencias sobre el deshielo según modelo ártico y antártico

La fusión de hielo flotante (modelo ártico) no produce variación en el nivel del mar, pero sí puede modificar significativamente el clima de muchas regiones a causa de su influencia en la circulación oceánica. Por el contrario, la fusión de hielo continental (Antártida, Groenlandia, glaciares de montaña) aumenta el nivel del mar con la consiguiente inundación de islas y zonas costeras, que desaparecerán bajo las aguas, afectando especialmente a zonas muy pobladas del planeta.

Objetivo de la actividad: Estudiar una de las principales consecuencias del calentamiento global: fusión del hielo glaciar y su relación con el clima y la inundación de la costa. Asimismo se trata de evidenciar la diferencia entre el comportamiento del hielo flotante y continental, lo que denominamos modelo ártico y antártico. Se propone para estudiantes entre 11 y 16 años.

Materiales

- un par de cubetas de vidrio
- hielo
- agua teñida de azul que simula ser el océano
- rocas para construir el continente antártico

Desarrollo: Se intenta reproducir ambos casos con un par de recipientes de vidrio, hielo, agua teñida de azul que simula ser el océano y rocas para construir el continente antártico. Colocamos cubitos de hielo flotando en un recipiente y encima de las rocas en el otro, llenamos hasta el borde y esperamos unos minutos para evidenciar la diferencia entre ambos modelos.

Otras Estrategias de aprendizaje

“Aprendizaje Basado en Problemas” (APB): es una estrategia de enseñanza-aprendizaje que, a diferencia de la enseñanza convencional, donde el docente enseña los contenidos y luego propone su aplicación presentando un determinado problema, *“en el caso del APB primero se presenta el problema, se identifican las necesidades de aprendizaje, se busca la información necesaria y finalmente se regresa al problema”*. Este sendero, es esencialmente práctico para presentar a los alumnos y trabajar sobre el **Cambio Climático**, debido a que son ellos los constructores del conocimiento y de su proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que el planteamiento del problema los estimula a buscar la información, sea interdisciplinar o no, y qué deben adquirir para encontrar la posible resolución del mismo. Este método pro-

mueve el “*aprendizaje colaborativo*” debido a los trabajos en grupo, y el “*desarrollo de habilidades como el análisis y síntesis de información y la reflexión de actitudes y valores*”.

El “Método de Proyectos” entendido como “*Un conjunto de atractivas experiencias de aprendizaje que involucran a los estudiantes en proyectos complejos y del mundo real a través de los cuales desarrollan y aplican habilidades y conocimientos*”. Donde, el conflicto cognitivo que ocasiona el enfrentar al alumno con un problema de la realidad, motiva la responsabilidad, el esfuerzo y la resolución del problema, buscando una alternativa para la sociedad en que están insertos. Comprendiendo de este modo que poseen un rol relevante en el lugar donde se encuentren, y además de comprometerse con el aprendizaje, toman conciencia del impacto, por ejemplo, que el Cambio Climático podría generar en el contexto en que viven y se desarrollan.

Alternativas con TIC: los *multimedia*, con modos de representación que atenúan la reflexión sobre la acción a través de videos, fotografías, texto escrito, audio e imágenes. Por otro lado, la interrelación de estos, propicia una experiencia nueva para el alumnado, una manera de aprender con tecnologías conformes con sus intereses, como *nativos digitales*.

Un instrumento válido son las llamadas *narraciones digitales* son una forma de relatar historias manipulando diversos modos de representación, como fotografías dibujos fragmentos de videos, audio, voz, etc. Esta estrategia que tiene como objetivo la presentación de una temática en particular, desarrolla las destrezas comunicativas de los alumnos, como así también, la escritura ya que deben planificar la narración, hacer un guion, además, se profundiza la autonomía y el trabajo en equipos.

Cómo trabajar en línea

Los alumnos y la población en general suelen percibir que la problemática del calentamiento climático antrópico está ligada a las “*grandes corporaciones que nada les importa del ambiente*” o a “*decisiones de algunos gobiernos poderosos que no quieren bajar el nivel de vida de sus ciudadanos*”. Pocas veces se asume el problema como de responsabilidad individual y colectiva. Es por eso que proponemos trabajar a través de una página de internet (existen otras más en las que se puede realizar esta actividad) en la que el propio alumno puede calcular la cantidad de toneladas de CO₂ que produce por año con sus actividades diarias. El cálculo es muy sencillo, pues sólo deben ingresar la cantidad de Kw de electricidad o m³ de

gas que se consumen anualmente y que figuran en la boleta de luz o gas respectivamente, o si se utiliza gas envasado cuántas garrafas se consumen por año. El cálculo se hace automáticamente. Además se puede calcular las emisiones indirectas de CO₂ que se producen individualmente al utilizar recursos como agua y papel.

Proponemos ingresar y recorrer las posibilidades que ofrece: <http://www.rscs2.es/calculadora/index.htm>

Reflexiones finales

El cambio climático se relaciona de manera muy íntima con otros problemas como la contaminación ambiental, la destrucción de hábitats por inadecuado uso del suelo, y otras alteraciones de los equilibrios naturales, producto de las actividades humanas. El mantenimiento de las variables macrofísicas que posibilitan la permanencia y la evolución de las formas de vida del planeta en su conjunto se debe a la interrelación de todos sus subsistemas: atmósfera, hidrosfera/criosfera, geosfera y biosfera. Hoy los principales ecologistas y biólogos del mundo, reconocen que si bien es la especie humana la que ha provocado muchos de los problemas ambientales con un estilo de desarrollo equivocado, también es la única que los puede resolver.

Por el interés de nuestro futuro sobre la Tierra y el del resto de las formas de vida que nos han acompañado en este largo proceso evolutivo, debemos contribuir al equilibrio dinámico de los subsistemas de *Gaia*, que posibilite el mantenimiento de la diversidad biótica. Si logramos el desarrollo sustentable podremos vivir y respetar la vida de las futuras generaciones. La educación es una herramienta fundamental para lograr estos objetivos. Para crear conciencia sobre la importancia del conocimiento del Cambio Climático, de la reducción de las emisiones de GEI, de la conservación de la biodiversidad, de la implementación de tecnologías alternativas, se debe lograr que el aprendizaje sea significativo; para ello es fundamental vivir experiencias, articular la teoría con la práctica, *actuar* conforme se presenten situaciones que necesiten una toma de decisiones, es decir, tener una *actitud* ante la realidad. Esto implica una enseñanza que ponga en práctica nuestros saberes para que entre todos logremos la construcción del conocimiento.

Bibliografía

Libros

- Acot P. (2005) Historia del clima Ed. El ateneo
- Barros, V. (2006) El cambio climático global Ed del Zorzal
- Basterra, Neiff y Casco (2008). Manual de Biodiversidad Chaco Corrientes y Formosa. Corrientes Argentina. Eudene. Primera Edición.
- Batista, M. A.; Celso V.E. y otros (2007): "Tecnologías de la información y la comunicación en la escuela: trazos, claves y oportunidades para su integración pedagógica". Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología. Bs. As.
- Bryson, B. (2006) Una breve historia de las cosas Ed. Del nuevo extremo
- Camilloni, I. y Vera C. (2007) El aire y el agua en nuestro planeta Ed. Eudeba
- Dawkins R. (1989) "El gen egoísta" Biblioteca Científica Salvat
- Duarte C. (2011) "Cambio climático" Asociación de libros La Catarata. España.
- Feinstein A. y Tiganelli H. (1999) Objetivo Universo Ed. Colihue
- Grünfeld, V. (1991). El caballo esférico. Buenos Aires. Lugar Editorial
- Jancovici, J. (2010) El cambio climático explicado a mi hija. 1º ED. Buenos Aires.
- Lovelock, J.; Gaia, (1986) Una Visión de la Vida sobre la Tierra. Hyspamérica.
- Ministerio de Educación de la Nación. (2008). Escuela Itinerante para EGB3 y Polimodal. Curso de Capacitación: Actualización Disciplinar en Física. Capacitación dictada por el Dr. Luis Ochoa, Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Pampa. Texto trabajado: ESCUELA DIGITAL DE FÍSICA GENERAL (2007). Capítulo 2.2. Calentamiento Global.
- Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología. (2002). Capacitación a Distancia en un entorno de cooperación para docentes de Polimodal y/o Nivel Medio. Curso de capacitación docente en Química. Módulo 2. Química Ambiental: Coordinación del equipo de Capacitación: Laura Cervelli de Vidarte. Responsable de los contenidos químicos: Horacio Roberto Corti.
- Martón, J. (2008). Calentamiento global al borde del límite. España. Editorial Sociedad de Estudios Transnacionales-INET. Córdoba, España.
- Rosnay, J. (1977) El macroscopio; México, DC., Editorial AC.,
- Simanaukas, T. (2008). Calentamiento Global. Un cambio climático anunciado. Buenos Aires Argentina. 1º Edición. Ediciones Continente .
- Tarback E y Lutgens F (2005) "Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física" Ed. Pearson. Madrid.
- Uriarte A. (2003) Historia del clima en la Tierra. Ed. Gobierno Vasco.
- Zaffaroni, E. (2011) La Pachamama y el humano. Buenos Aires. Argentina. Ediciones Colihue.

Artículo en revista

- Camilloni, I. (2008) " El cambio climático" en *Revista Ciencia Hoy*. Volumen 18 Número 103. Pp. 43. Febrero de 2008. Bs. As. Argentina.
- Pedrinaci, Emilio. (2008). El cambio global: un riesgo y una oportunidad. *Revista Alambique*. [Versión electrónica]. N°55.
- Trenberth E. Kevin "Océanos más cálidos y Huracanes más fuertes" *En Revista Investigación y Ciencia*. N° 372. Páginas 14 a la 21.
- Sóñora Luna, F., Rodríguez-Ruibal, M, Troitiño, Raquel (2009). Un modelo activo de educación ambiental: prácticas sobre cambio climático. En *Rev. Enseñanza de las Cs. De la Tierra*. Vol.: 17 Núm.: 2

Vide Javier Martín (2009). Diez verdades y diez mentiras en relación al cambio climático. En Rev. Enseñanza de las Cs. De la Tierra. Vol.: 17 Núm.: 2

Información en línea

Charles W. Schmidt (2011) Fundación Científica y Tecnológica. *Ciencia y Trabajo* año 13 numero 39 [en línea <http://www.cienciaytrabajo.cl/V2/index.html>] Fecha de consulta 10 de Abril de 2012.

Camilloni, Inés (2011) RETROALIMENTACIONES EN EL SISTEMA CLIMÁTICO Material de la cátedra de Cambio Climático, Clase: 23/08/2011. Disponible en http://cc.at.fcen.uba.ar/clase_Retroalimentación%20y%20Sistema%20Climatico_2011.pdf Ferreti Edmundo Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación-Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2006) [en línea http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/.../File/ILAC_JUNIO_2006.pdf.] Fecha de consulta 6 de Abril del 2012

Cambio Climático 2007 - Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC

Cambio Climático 2007 - Mitigación del Cambio. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC

IPCC Cambio Climático 2007 - Bases de Ciencia Física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC

IPCC, 1997. Documento Técnico II: INTRODUCCIÓN A LOS MODELOS CLIMÁTICOS SIMPLES UTILIZADOS EN EL SEGUNDO INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC. Editado por John T. Houghton L. Gylvan Meira Filho David J. Griggs Kathy Maskell. (En www.ipcc.ch)

Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2008). *Cambio Climático 2007 Informe de Síntesis*. [En líneas www.ipcc.ch] Fecha de consulta 29 de Abril de 2012

Manual de Ciudadanía Ambiental Global (PNUMA) [En línea <http://www.pnuma.org/ciudadania/Index.php>.] Fecha de consulta 29 de Marzo de 2012

Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación-Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2006) [en línea www.ambiente.gov.ar/archivos/web/.../File/ILAC_JUNIO_2006.pdf.] Fecha de consulta 6 de Abril del 2012

Montenegro C. (2005) Equipo técnico de UMCEF Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal-Dirección Bosques-Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable [en línea [umcef@medioambiente.gov.ar](http://medioambiente.gov.ar)] Fecha de consulta 6 de Abril del 2012.

http://www.acumar.gov.ar/informacionPublica_causa_mendoza.php

<http://siteresources.worldbank.org/EXTCC/Resources/4078631219339233881/SpanishDevelopmentandClimateChange.pdf>

<http://www.tuverde.com/2008/12/%C2%BFpor-que-la-basura-contribuye-al-calentamiento-global/>

<http://www.un.org/es/globalissues/environment/>

<http://www.ambiental.net/opinion/AcostaNaturalezaDerechos.htm>

http://www.buenosaires.gov.ar/areas/med_ambiente/basura_cero/

<http://galeon.com/trabajodelpais/LEG2.html> consultado el 15-9-2012

<http://www.mendoza-conicet.gob.ar/paleo/es/primer.html> consultado el 24-9-2012

<http://www.globalizate.org/AMS-CC>

(Footnotes)

1 CFC- 11: Nombre de uno los gases clorofluorcarbonados sintéticos con efecto invernadero.

Sobre los autores



Santa Recalde es Profesora en Biología recibida en la UNaF (Universidad Nacional de Formosa). Actualmente se encuentra cursando la carrera de Licenciatura en Educación en la Universidad Siglo 21. Se desempeña como profesora en el ISFD de la localidad Laguna Naineck, Provincia de Formosa dictando las siguientes asignaturas: Fisiología Vegetal, Diversidad Vegetal, Educación Ambiental y Salud Humana, y Anatomía y Fisiología Humana.



María Josefa Mandón es profesora de Ciencias Naturales (I.N.S.P. "Dr. Joaquín V. González", Ciudad de Buenos Aires), especialista en Investigación Educativa (UnComa) y actualmente cursa la Maestría en Didáctica de las Ciencias Experimentales (UniCenPBA). Sus áreas de trabajo son formación y capacitación docente en Ciencias Naturales, Educación Tecnológica y Educación Ambiental. Se desempeña como formadora de formadores en la provincia del Chubut y Río Negro. Autora de numerosas publicaciones sobre temas de su especialidad, ha dictado numerosos cursos, talleres, seminarios y conferencias para docentes de todos los niveles.



Pablo Torres es Licenciado en Geografía. Actualmente trabaja como profesor en el nivel Superior de la Provincia de Buenos Aires al frente de la cátedra de "Ciencias de la Tierra" en Profesorados en Biología y Geografía. Es autor del libro "Las bases naturales del planeta Tierra" (2009) y otras publicaciones de interés general en varias revistas. Participo en varios cursos de especialización sobre cambio climático (U.B.A./ PIUBACC y U.C.A). Es capacitador docente y se desempeña como coordinador y profesor de postítulos de actualización docente de la Dirección de Educación Superior dependiente de la D.G.C. y E. de la Provincia de Buenos Aires.



Marcelo Alejandro Diez es Profesor de Biología y Licenciado en la Enseñanza de la Biología. Se desempeña como profesor en el nivel Superior en las cátedras de Biología Humana, Antropología y Metodología de la Investigación. Es coordinador en postítulos de actualización docente y dicta Cursos de capacitación docente en el área de Ciencias Naturales. Ha escrito Libros de Divulgación Científica y Textos editoriales para la Educación Primaria y Secundaria. También se desempeñó como Docente Investigador en diversas Campañas Paleontológicas y produjo material de divulgación derivado de dichas investigaciones.

SERIE CUADERNOS DE TRABAJO DOCENTES APRENDIENDO EN RED

El sector de Educación de la Oficina de Montevideo-Representación ante el MERCOSUR implementa sus acciones programáticas a nivel nacional y subregional en el marco del Proyecto Regional de Educación para América Latina y el Caribe (EPT/PRELAC 2007).

Los ministros de Educación de la Región han afirmado que la educación es un bien público y llave para la construcción de un mundo más justo, señalando siete temas centrales en sus recomendaciones (www.unesco.org/Santiago). Esta nueva serie de publicaciones, que hemos titulado Docentes Aprendiendo en Red (DAR) se nutre selectivamente de las recomendaciones referentes al "derecho de las personas a aprender a lo largo de la vida" desde "enfoques educativos para la diversidad, la inclusión y la cohesión social". La serie pretende acercar al docente lector materiales de apoyo educativo, elaborados por algunos de sus pares docentes que han sido participantes activos de proyectos innovadores asistidos por UNESCO.

A nivel nacional, implementar estas recomendaciones potencia una de las funciones de la UNESCO que denominamos "laboratorio de ideas". En ese sentido, la temática de acortar distancias entre las investigaciones universitarias y la formación de docentes en ciencias es uno de nuestros centros de interés programático. Entendemos que trabajar a favor de los educadores de la enseñanza demanda asistir técnicamente en el diseño de proyectores innovadores fundamentalmente en dos aspectos:

a) Requerir y fomentar equipos con profesionales diversos que sean referentes para el tema seleccionado y se encuentren dispuestos a "Aprender juntos" (Delors 1996)

b) Incluir en el diseño instancias colectivas de formación, discusión y planteo de dificultades conceptuales, con el objetivo de estimular aprendizaje y capacidades de producción de materiales escritos por docentes.

Los cuadernos de trabajo "Escritura en Ciencias" en el marco de la serie DAR han sido generados por el Instituto Nacional de Formación Docente del Ministerio de Educación de la Nación Argentina a través de una convocatoria abierta a los Institutos de Formación Docente de gestión pública de todo el país.

Los cuadernos de Escritura en Ciencias se ponen a disposición de formadores y alumnos de la formación docente como materiales de apoyo educativo elaborados por pares que han sido participantes activos como integrantes de equipos de trabajo que llevan adelante de proyectos innovadores asistidos por UNESCO.

El trabajo de los coordinadores ha sido complejo e indispensable para el éxito de este tipo de proyecto. Las contrapartes por países han hecho propio este diseño y ajustado a sus realidades temáticas y de arquitectura (presencial y/o virtual). De esta manera, la temática de Paraguay es "La Escritura en Paraguay", en Argentina "Escritura en Ciencias" y en Uruguay "Celebrando el Año Internacional de la Química". Los coordinadores generales, así como los de Escritura han desarrollado un análisis crítico del proceso y han sabido guiar las intrincadas relaciones generadas cuando se "aprende haciendo" contribuyendo a resolver conflictos y logrando el mejor documento posible. En ese sentido, vaya a todos ellos nuestro agradecimiento.

María Paz Echeverriarza
Profesional del Programa Educación
UNESCO Montevideo



Ejemplar de distribución gratuita. Prohibida su venta.