

APÉNDICE

EL CAMBIO GLOBAL

Héctor L. D'Antoni.

Investigador Emérito, asociado al Centro de Investigaciones Ames de la NASA en California.

En este artículo se analiza un subconjunto de los fenómenos conocidos como Cambio Global y en los que el autor ha realizado algunas investigaciones.

Desde que se originó, hace unos cuatro mil seiscientos millones de años (4,6 Ga) hasta el presente, la Tierra ha sido un planeta cambiante. El cambio es producido por enormes fuerzas naturales que elevan montañas, quiebran la corteza terrestre, hacen emerger volcanes que cambian el paisaje geológico, crean islas y archipiélagos y otros fenómenos de similar magnitud que, a veces, cambian el clima. La acción humana es irrelevante ante los cambios producidos por estas fuerzas naturales. Sin embargo, en pequeña escala, acumulativa, la humanidad produce otros cambios que pueden controlarse, evitarse o modificarse. Estos cambios se operan principalmente en la atmósfera y tienen efectos sobre uno o más subsistemas de la Tierra.

El cambio climático

Entre los factores que no podemos controlar están los “motores” del clima, llamados “forzadores” (Bradley 2003). El sol emite energía electromagnética (Fig. 1) en un amplio rango de frecuencias y tiene su propio clima. Los detectores satelitales HF, ACRIM I y II, y VIRGO permitieron establecer que la emisión solar entre 1978 y 2002 varió entre 1363 y 1368 Watts por metro cuadrado ($W \cdot m^{-2}$).

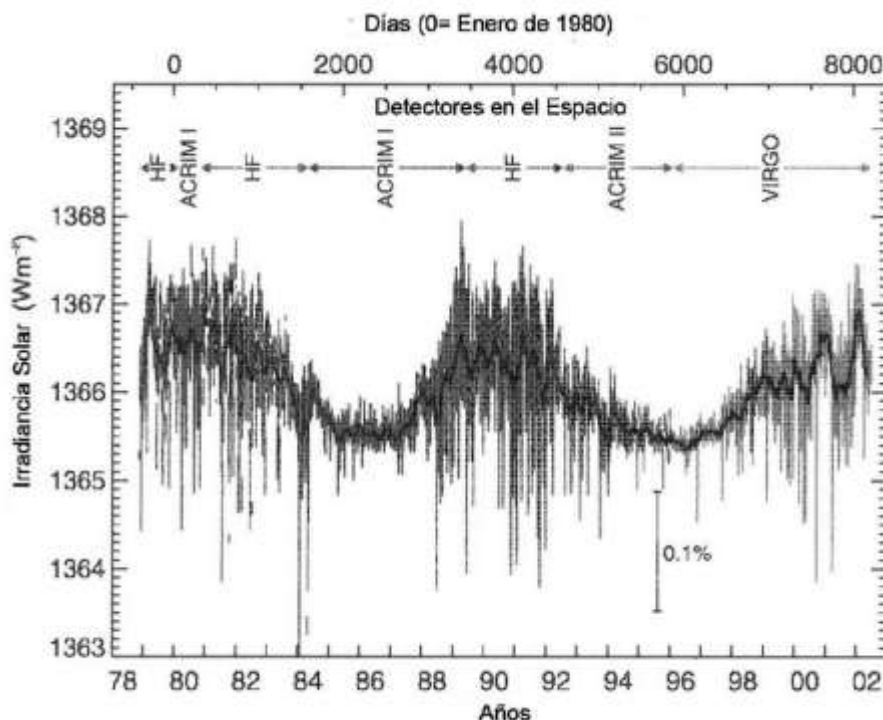


Figura 1:
El “motor” o “forzador” solar registrado por los detectores HF, ACRIM I y II, y VIRGO entre 1978 y 2002.
(de Fröhlich 2004, modificado).

La órbita elíptica que recorre la tierra alrededor del sol se acorta hasta acercarse a una circunferencia y se alarga formando una elipse (Fig 2). Esto curre en un período de unos 110.000 años. Con mayor frecuencia varía el ángulo del eje de rotación con el plano de la órbita (Fig. 2) y con frecuencia aún mayor varía el movimiento cónico del eje de rotación de la Tierra sobre sí mismo (precesión) (Fig.2). La acción de estos tres motores fue calculada por el astrofísico serbio Milutin Milancovitch en 1941 y detalladamente verificada por

la American Geophysical Union en 1978. De esas verificaciones resultó una suma algebraica de los efectos mancomunados de estos tres factores (Fig. 2).

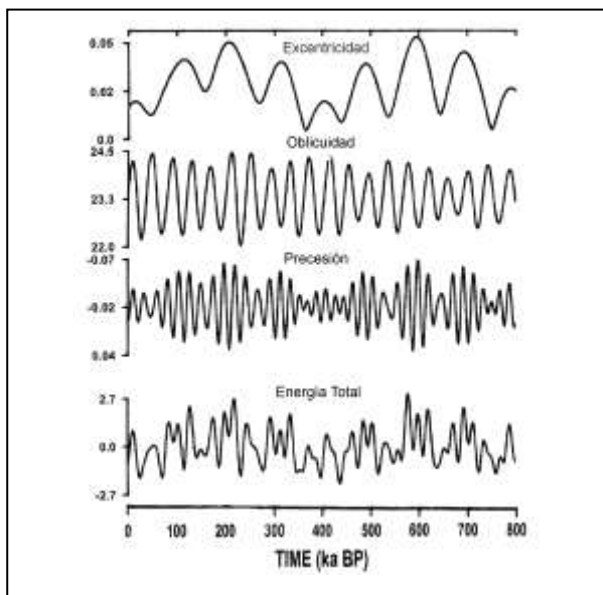


Figura 2:

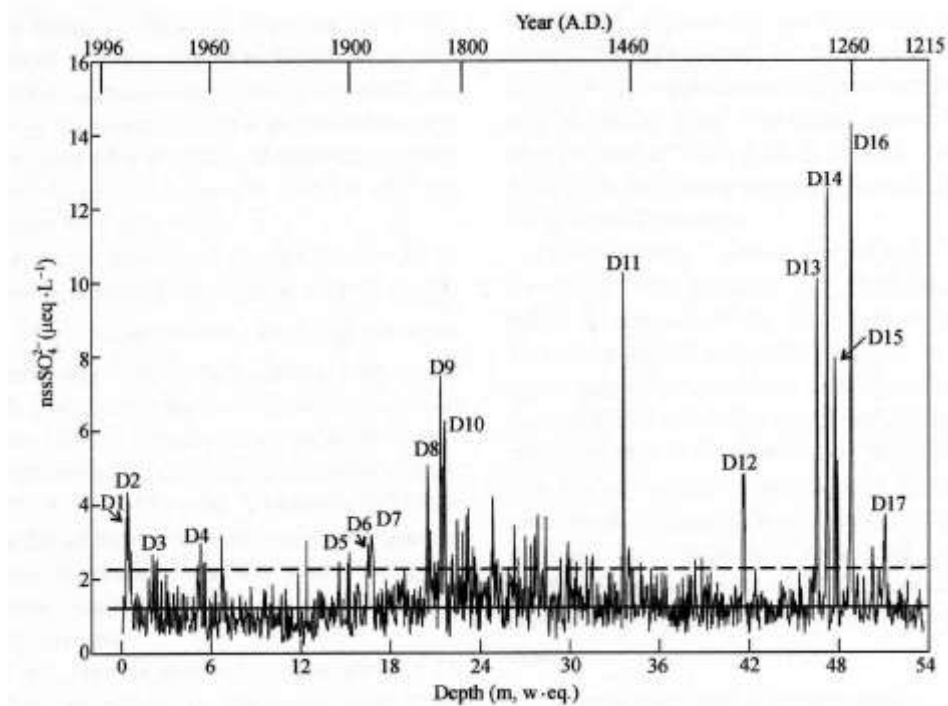
El “motor” o “forzador” orbital, formado por los componentes de *excentricidad*, *oblicuidad* y *precesión*, y la suma algebraica de sus efectos denominada ETP. (Bradley 1999, modificado).

Sin embargo, el “motor” climático más importante durante los últimos 10.000 años ha sido el vulcanismo. Su efecto sobre el clima es múltiple pero notablemente, la inyección de aerosoles en la atmósfera filtra y refleja la radiación solar reduciendo el flujo de ésta que llega a la Tierra (Fig. 3).

Figura 3:

El “motor” o “forzador” volcánico registrado por la concentración de sulfatos no-marinos en el hielo antártico (según Zhou et al. 2006).

Los datos graficados por debajo de la línea de guiones se consideran como “sulfatos marinos” parte del aerosol oceánico.



El cambio climático del que puede responsabilizarse a la humanidad es el aumento artificial del “efecto invernadero” natural de la Tierra.

El Calentamiento Global Imputable a la Humanidad

El efecto invernadero, al modo de los invernaderos de los agricultores y floricultores, mantiene un ambiente cálido en el planeta, con una temperatura media global de 16 °C. Sin este efecto, la temperatura global de la Tierra sería de 18 °C bajo cero. A esta temperatura no habría agua líquida en el planeta, un componente indispensable para la existencia de la vida.

¿A qué se debe el calentamiento global producido por la humanidad? Ese calentamiento se debe a un aumento artificial del efecto invernadero natural de la Tierra por el agregado de gases de invernadero (transparentes a la luz y opacos al calor) como el vapor de agua y los gases de traza (así llamados porque suman menos del 1% de la atmósfera), como el dióxido de carbono, metano, ozono y los cloro-fluoro-carbonos). La concentración de estos gases en la atmósfera crece y ésta es una señal de alarma ya que en los últimos 160.000 años, la temperatura global varió en consonancia con la concentración de CO₂ en la atmósfera.

¿Qué actividades humanas son responsables del calentamiento global?

La *Revolución Agrícola* (iniciada hace unos 10.000 años) extendió el cultivo de plantas y la cría de ganado reemplazando bosques por pasturas y cultivos y generando un aumento del CO₂, NO₂ y CH₄. Posteriormente, la *Revolución Industrial* (iniciada en el Siglo XVIII) requirió energía para producir y operar las máquinas. La energía se ha obtenido desde entonces por la combustión de leña, gas, petróleo y carbón que condujo a la inyección miles de millones de toneladas de CO₂ en la atmósfera y desde 1929 también los CFC, “gases ideales” desarrollados inicialmente para la industria frigorífica.



Figura 4:

La deforestación tiene numerosos efectos negativos sobre el ambiente. En términos del efecto invernadero, agrega 1,6 Gt de carbono a la atmósfera cada año.

Además de la agricultura y muchas actividades industriales, la industria de la madera daña la cubierta vegetal del planeta cuando utiliza técnicas de explotación no sustentables (como el “clear-cut”). La deforestación inyecta unos mil seiscientos millones de toneladas de carbono a la atmósfera que aumentan artificialmente el efecto invernadero y es también responsable de la pérdida de biodiversidad de 137 especies por día.

Figura 5:

Concentración de vacunos para engorde en las proximidades de Coalinga (California, USA), destinados a la industria de la alimentación. Los vacunos son grandes productores de metano por flatulencia y regurgitación. La enorme población vacuna desarrollada



para satisfacer la industria de la carne se ha convertido en una fuente importante de gas metano, un gas de invernadero que es 25 veces más poderoso que el dióxido de carbono. También algunas áreas anegadas ofrecen nuevos hábitats para bacterias metanogénicas.

La fragmentación de ecosistemas es ejemplificada por la explotación maderera de la selva lluviosa tropical de Brasil. Allí, el encharcamiento de las huellas de los camiones abre conexiones entre áreas anteriormente separadas que pueden crear condiciones favorables para la conversión de algunos microorganismos en agentes patógenos. Las imágenes captadas por radares satelitales muestran la dramática extensión de estas explotaciones del más importante de los “pulmones” de nuestro planeta.

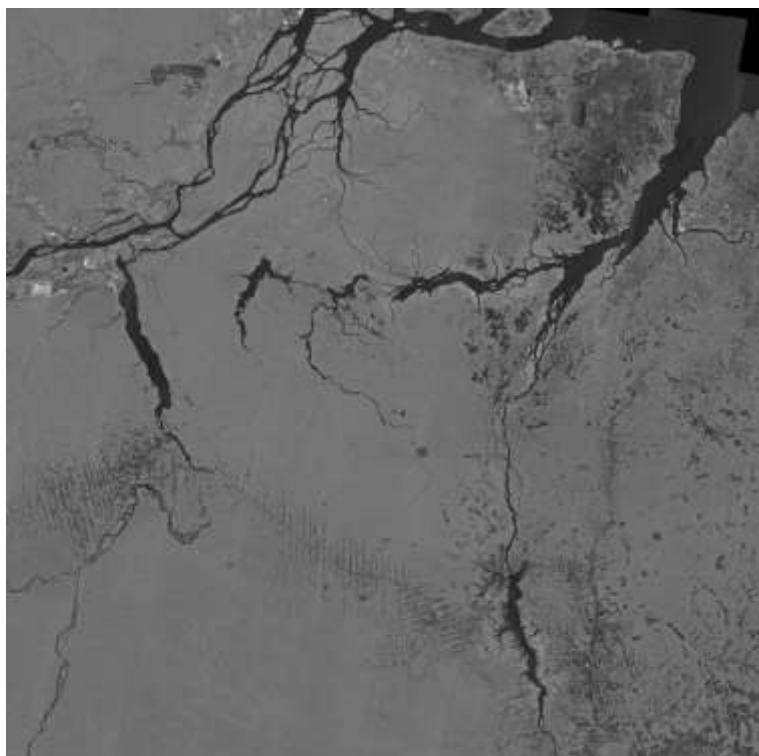


Figura 6:

Imagen de radar satelital de la Agencia Espacial Japonesa (NASDA) en las proximidades de la desembocadura del Río Amazonas en el Océano Atlántico. El radar omite la vegetación pero describe el contenido de agua del suelo.

Las marcas similares a peines que se ven en varios sectores de la imagen son las huellas anegadas dejadas por los camiones que transportan la madera a los centros de distribución y comercialización.

¿Dónde pueden verse los efectos del calentamiento?

La reducción dramática del Polo Norte entre 1979 y 2003 es una prueba del calentamiento al que responde más rápido este Polo cuyo casquete glacial es una capa de hielo que flota en el mar, en contraste con el hielo antártico que se apoya sobre un continente.



Figura 7:

Extensión del casquete de hielo del Polo Norte en 1979 (línea roja) y en 2003. Imagen de NASA.

Otra prueba del calentamiento es la aceleración del desprendimiento de “estantes” costeros del hielo antártico. A estos fenómenos puede agregarse el derretimiento de los suelos permanen-

temente helados, "Permafrost" de Siberia que está llevando a la destrucción de las tumbas de los escitas y a la estupenda colección de restos de animales extinguidos en el Pleistoceno y que se habían conservado intactos en el suelo helado.



Figura 8:

Investigadores suizos tratan de rescatar información de las tumbas de los escitas que se están destruyendo por el derretimiento del permafrost siberiano. (Fotografía de Andrew Curry, 2009).

Asimismo, el poblamiento de América por asiáticos de los alrededores del Lago Baikal a través del Estrecho de Bering convertido en istmo por el descenso del nivel del mar durante la glaciación dejó huellas que se están destruyendo. Los asiáticos caminaron detrás de sus presas pero sólo dejaron testimonios en la costa de algunas islas de California. El actual ascenso del nivel del mar está destruyendo esos testimonios milenarios del poblamiento de América.



Figura 9:

Los restos del poblamiento de América por los asiáticos de los alrededores del Lago Baikal (Siberia) que cruzaron por el istmo que ocupaba el actual estrecho de Bering cuando el nivel del mar era más bajo, dejaron sus restos en la costa de algunas islas californianas que sufren acelerada erosión debido al ascenso del nivel del mar. (Fotografía de Andrew Curry, 2009).

El mismo mecanismo está destruyendo los testimonios del poblamiento Thule de Groenlandia con una antigüedad de 2.000 años.



Figura 10:

Restos de la cultura de los Thule en la costa de Groenlandia que se van destruyendo por el ascenso del nivel del mar. (Fotografía de Andrew Curry, 2009).

Por fin, la Plaza de San Marcos (Venecia) se inundó 200 veces en el año 2010.



Figura 11:

La Plaza de San Marcos en Venecia (Italia) se inundó (Acqua alta) 200 veces durante el año 2010. (Foto del Dr. Giancarlo Rossi).



En el otro extremo del cambio, la acentuada aridización del Sudán acelera la erosión de las famosas figuras amarillas de 2.000 años de antigüedad, que se conectan con las tradiciones culturales del antiguo Egipto.

Figura 12:

La mayor aridización del Sudán acelera la erosión de las "figuras amarillas", tesoros de la arqueología del antiguo Egipto.

(Fotografía de Osman Elkhair, Khartoum Sudan e Imad-eldin Ali, Monterey California).

Otro testimonio dramático del calentamiento es el retroceso de los frentes glaciares. En nuestro país se aprecia en aquellos que drenan desde la Cordillera a la Patagonia.

Figura 13:

Frente del Glaciar Uppsala al oeste del Lago Argentino (Provincia de Santa Cruz). Este glaciar ha retrocedido unos 5 km en cinco décadas y sus afluentes han quedado como glaciares "colgados" debido a retroceso del Uppsala (foto D'Antoni, Noviembre de 2007).





Figura 14a:

Un glaciar “colgado” que en el pasado fue afluente del Upsala y actualmente se halla a unos 3 km de la zona de ablación de éste (foto D’Antoni, Noviembre de 2007).

Así, el calentamiento produce el derretimiento de los hielos polares, de los glaciares de montaña y del permafrost. Esa “agua indirecta” retenida en los continentes vuelve al mar y sube su nivel dañando diversos tipos de materiales y asentamientos costeros actuales, arqueológicos y paleontológicos. La aridización causada por el mismo calentamiento sustrae tierra arable a la agricultura y rompe testimonios culturales de la humanidad, como los de Sudán.

El ozono estratosférico y la radiación solar ultravioleta

En la estratosfera, la capa ozono que se extiende entre los 12 y 35 km de altura, absorbe los fotones de alta energía de la radiación ultravioleta-B (UV-B, 315-280 nm) y C (UV-C, 280-150 nm). El freón y otros gases artificiales usados en la industria y los óxidos nitrosos (N_2O) de la agricultura alteran el balance entre la creación y la destrucción del ozono (O_3) en favor de la destrucción. La merma de la concentración de la capa de O_3 disminuye el poder de filtrado de la radiación UV-B y UV-C.

En los años de 1920 la pujante industria frigorífica utilizaba gases como cloruro de metilo en los circuitos de refrigeración. Cuando había una pérdida de gas en el circuito, el gas mataba a los obreros que trabajaban en las cámaras frías. Varias empresas importantes que vendían equipos de refrigeración industrial y familiar vieron mermar sus ventas por la pérdida de confianza de los consumidores. Estas empresas, junto con DuPont de Nemour se abocaron a la búsqueda de un gas para la refrigeración que no amenazase la seguridad de los obreros. En 1929 se creó el freón al que siguieron otros gases similares inertes, de moléculas pesadas que no contaminarían la atmósfera. Sin embargo, sus moléculas se rompen por acción de la radiación UV y los fragmentos (como el monóxido de cloro, ClO) propician la destrucción de la inestable molécula de ozono. Aun las moléculas pesadas suben a la estratósfera cuando se forman sistemas de tormenta con nubes *cumulus* que llegan a los 18.000 metros de altura (D’Antoni 2008). En ese nivel, las moléculas de freón se rompen por acción de la radiación UV y los fragmentos comienzan la destrucción del O_3 . Así, los “gases maravillosos” que habían cavado su nicho en la economía mundial se convirtieron en “villanos” cuando los investigadores ingleses que medían el ozono estratosférico en el Polo Sur dieron voces de alarma sobre la baja concentración de este gas en la primavera austral. Los detectores satelitales de la NASA parecían confirmar las observaciones de los científicos ingleses pero mucha gente creía que se trataba de errores. En un emprendimiento mayor, la NASA equipó dos aviones estratosféricos ER-2 con numerosos detectores desarrollados especialmente para este trabajo.



Figura 14b:

Un ER-2 (primer plano) y un U2 sobrevolando el Golden Gate de San Francisco, California. (Foto NASA Ames).

Estelle Condon (investigadora del Centro Ames de la NASA en California) dirigió la misión. Los ER-2 volaron desde Punta Arenas (Chile) en dirección al Polo Sur midiendo bajas concentraciones de ClO y altas concentraciones de O₃ hasta llegar a los 69 grados de latitud Sur donde las concentraciones se invirtieron marcando el comienzo del “agujero del ozono austral”. Esta misión proveyó la prueba material de la existencia del “agujero del ozono” austral.

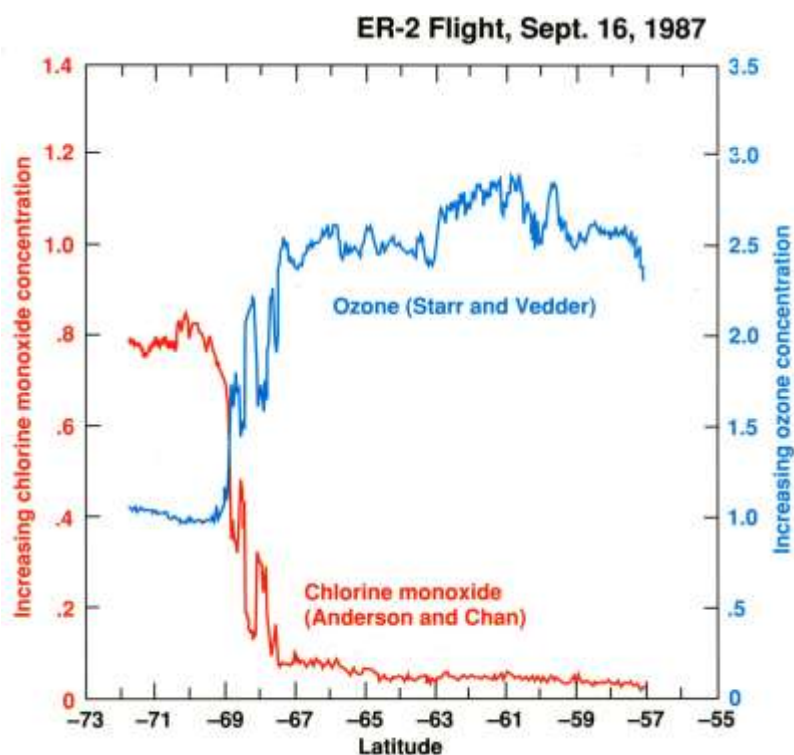
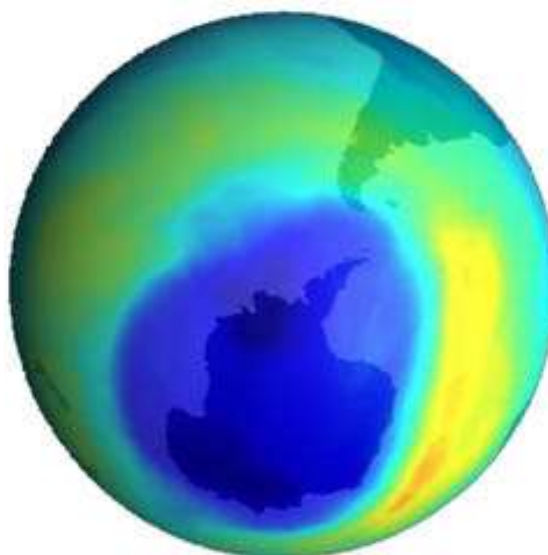


Figura 15:

Resultados del estudio de cromatografía gaseosa in-situ desde los 57 grados de latitud sur hasta los 72 grados mostrado la caída de la concentración de O₃ y el aumento de la concentración de ClO, marcando el comienzo del “agujero del ozono” a los 69 grados de latitud sur.

Figura 16:
Imagen satelital del “Agujero del Ozono” antártico. Octubre de 2002. Imagen de la NOAA.



Este fenómeno estacional fue agrandándose desde su descubrimiento y, junto con la disminución global del ozono estratosférico, condujeron a la firma del Protocolo de Montreal en 1989, que limitó la producción de freón y otros cloro-fluoro-carbonos (CFC) tratando de mejorar la situación del O₃ estratosférico. En opinión del ex Secretario General de la Organización de las Naciones Unidas, Kofy Annan, éste ha sido el acuerdo mundial más exitoso en la historia de la organización. Sin embargo, ilegalmente, el freón se sigue produciendo y existen también grandes reservorios dispersos por el planeta: durante muchos años los colchones de espuma de plástico han sido inflados con este gas por su condición inerte, pero cada vez que se usa el colchón se emite una pequeña cantidad del gas. No menos importante es la residencia en la atmósfera de las moléculas que dañan al O₃, que puede extenderse por muchas décadas. Así, a pesar de nuestro deseo

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

de dejar atrás la destrucción del O₃ estratosférico y sus consecuencias sobre el flujo de radiación UV que llega a la Tierra, el problema continúa vigente.

Un hallazgo inesperado

Los *espectrómetros* usados en satélites artificiales y naves espaciales son pequeños y precisos. Para *descifrar los datos satelitales* es necesario medir en tierra los objetos que producen la imagen registrada por los detectores satelitales. Así, en la primavera austral de 2005 L. Rothschild y D. Rogoff estudiaban la microbiología de los lagos del Altiplano Boliviano por encima de 4000 metros de altura. Para medir la radiación solar usaban un radiómetro producido por la empresa Solar, con varios detectores. También en 2005, D'Antoni hacia trabajo de campo en la Patagonia Austral y Tierra del Fuego. Esta expedición permitió separar tres especies arbóreas de *Nothofagus* (*N. antarctica*, *N. pumilio* y *N. betuloides*) por sus diferencias en la reflectancia del rojo, verificar la humedad del suelo medida en campañas anteriores, los contenidos de N, Ca y Na en el suelo, y el espectro de la radiación solar entre 250 y 850 nm con una resolución espectral de 0,5 nm. Esta espectrometría *in situ* se hizo con un instrumento comercial análogo a los usados en satélites, calibrado en fábrica y verificado en la NASA con una fuente del Instituto Nacional de Standards y Tecnología (NIST) de los Estados Unidos. La campaña se realizó en noviembre cuando aun estaba abierto el "agujero del ozono austral". El análisis de los datos puso en evidencia algo inesperado: señales en el rango de 250 a 280 nm de longitud de onda, una porción del espectro que según el paradigma vigente, no llega a la superficie de la Tierra. Nuestras colegas Rothschild y Rogoff habían realizado el mismo hallazgo en el Altiplano Boliviano por encima de los 4000 metros de altura.

Los *espectros de acción* muestran la importancia de la UV-C en moléculas básicas para la vida, como el ADN, el triptófano, la lipasa y el ácido indol-acético (una hormona de crecimiento de las plantas). Sin embargo, la *relevancia de nuestro hallazgo* no radica en nuevos riesgos sino en la re-investigación de los conocidos y asignados sólo a la UV-B. Pensamos que es necesario revisar el paradigma vigente ya que hace falta *nueva teoría y nueva interpretación* en campos tales como la mutagénesis, apoptosis y necrosis en células de animales y plantas.

A fines de 2007 publicamos un artículo sobre estos hallazgos (D'Antoni et al. 2007). Continuamos trabajando, nos comunicamos con un colega español que había realizado hallazgos semejantes a los nuestros 10 años antes y comenzamos una fructífera discusión que condujo a la verificación tripartita de los datos, con el radiómetro Solar con una sonda centrada a 254 ± 5 nm, y un espectrómetro con detector Sony de 2048 pixels que resuelve a 0,5 nm, aproximadamente. Por otra parte, con I. Aguirre de Cárcer medimos simultáneamente con nuestros espectrómetros y su dosímetro específico para UV-C consistente en KCl:Eu²⁺. Luego de expuesto a la radiación solar, si esta incluye UV-C, el Eu²⁺ pierde electrones que son atrapados por la sal (KCl). Una vez expuesto, el dosímetro es leído por termo luminiscencia. Cuando la temperatura llega a 240° C se abren las "trampas" de electrones del KCl, los electrones regresan al Eu²⁺ y que éste al recibirlos emite fotones (Aguirre de Cárcer et al. 2009). Así, desde las primera mediciones de 2005 hasta las mediciones sincronizadas de 2008, 2009 y 2010, queda claro que la radiación solar UV-C en el rango de 250 a 280 nm llega a la superficie de la Tierra, en contraste con lo que sostiene el paradigma vigente.

La destrucción de la capa de ozono estratosférico disminuye su capacidad y eficacia como filtro de la radiación solar ultravioleta que llega a la Tierra. Esta capa se formó tempranamente en la historia biológica del planeta y la mayor parte de las especies animales y vegetales que conocemos se originaron y evolucionaron bajo la protección de este filtro. Como dijimos, algunas de las más importantes biomoléculas absorben energía electromagnética UV-C capaz de romper sus ligaduras químicas. Huelga decir que la destrucción del ozono estratosférico tiene importantes consecuencias para la vida en el planeta.

El Fenómeno "El Niño"

Periódicamente, el calentamiento del Océano Pacífico tropical genera el fenómeno El Niño que tiene efectos globales. ¿Es parte del cambio global? ¿Ocurría antes del Siglo XX? ¿Está aumentando? Estas y otras preguntas atrajeron nuestra atención. Philander (1989) produjo un modelo de los efectos globales de "El Niño" que fue replicado por diversos autores y respaldado por numerosas imágenes satelitales.

Efectos de El Niño en América del Sur.

Durante los episodios "El Niño" las lluvias de enero en el oeste amazónico disminuyen de 300 mm a 30 mm, la hojarasca se seca convirtiéndose en un combustible de fácil ignición. La combustión de esa biomasa realimenta el efecto invernadero. La reducción de la precipitación se debe a una masa de aire denso que se

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

instala en el oeste amazónico y que desvía los vientos húmedos del Atlántico hacia el sur provocando inundaciones en la cuenca del Paraná-Plata.

El análisis de los anillos de los árboles se usa para estimar la edad de objetos de madera; en un nivel más elevado se conectan los recuentos de los anillos de distintos árboles desde los ejemplares vivos hasta árboles del pasado para armar una “dendrocronología”. Especialistas calificados intentaron reconstruir la historia del fenómeno “El Niño” mediante el análisis de los anillos de los árboles y obtuvieron resultados parcialmente válidos. Con el fin de estudiar la historia ambiental, introdujimos una nueva técnica para explotar los anillos de crecimiento de los árboles como registro vicario del fenómeno “El Niño”. Así, calibramos un modelo de redes nerviosas en el que la variable dependiente era la temperatura superficial del mar (SST) y produjimos una reconstrucción hipotética de la historia de la SST del Océano Pacífico junto a la costa de las Américas, o “Ship-Track 1”. (D’Antoni y Mlinarevic 2002). Igual que en la actualidad, puede decirse que cuando la SST de “Ship-Track 1” supera la temperatura media del Océano, se produce un fenómeno “El Niño”. También reconstruimos la historia de la SST del Atlántico Sur que mostró mucha menos variabilidad (D’Antoni y Mlinarevic 2002). Los indicadores estadísticos del modelo eran altos y la reconstrucción era confiable. Sin embargo, no podía superar el nivel de hipótesis ya que no se había cotejado con otro registro independiente.

En 2006, Zhou et al. estudiaron el contenido de sulfatos no marinos en el hielo antártico e hicieron una cronología precisa de las erupciones volcánicas para el mismo período de nuestra reconstrucción. La coincidencia de las erupciones con momentos de baja SST del Pacífico fue un fuerte respaldo para nuestra hipótesis. También se registraron bajos valores de SST en los mínimos solares de Maunder (1650-1715) y Dalton (1790-1820) y las grandes variaciones de la “Pequeña Edad del Hielo” (1500-1850). Con la nueva evidencia y la comparación con otros registros, nuestra hipótesis resultó fortalecida.

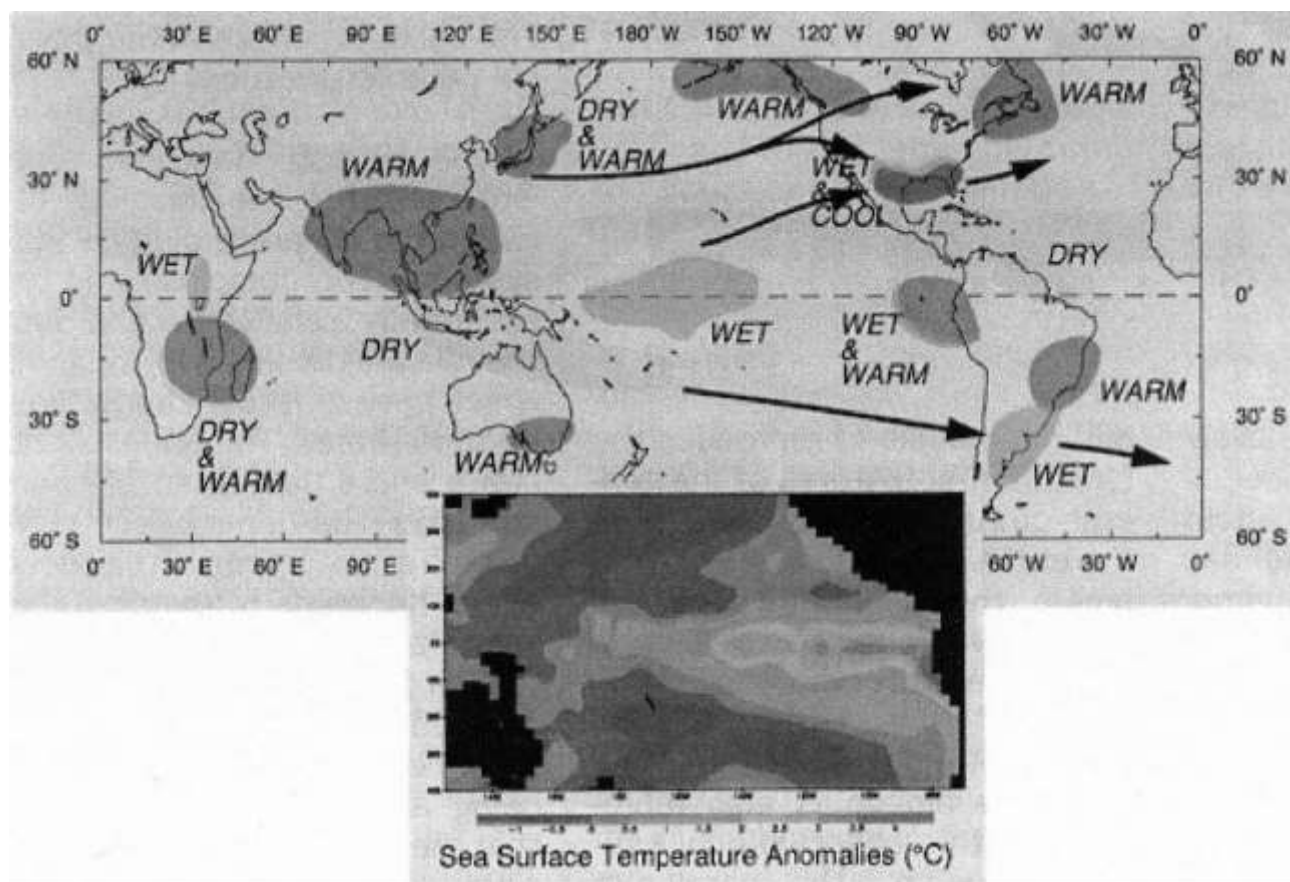


Figura 17: Efectos globales del fenómeno “El Niño” (Bengtsson 1997, modificado).

En la parte inferior se ve la imagen satelital de la corriente cálida chocando contra la costa de Ecuador y extendiéndose hacia el norte y el sur.

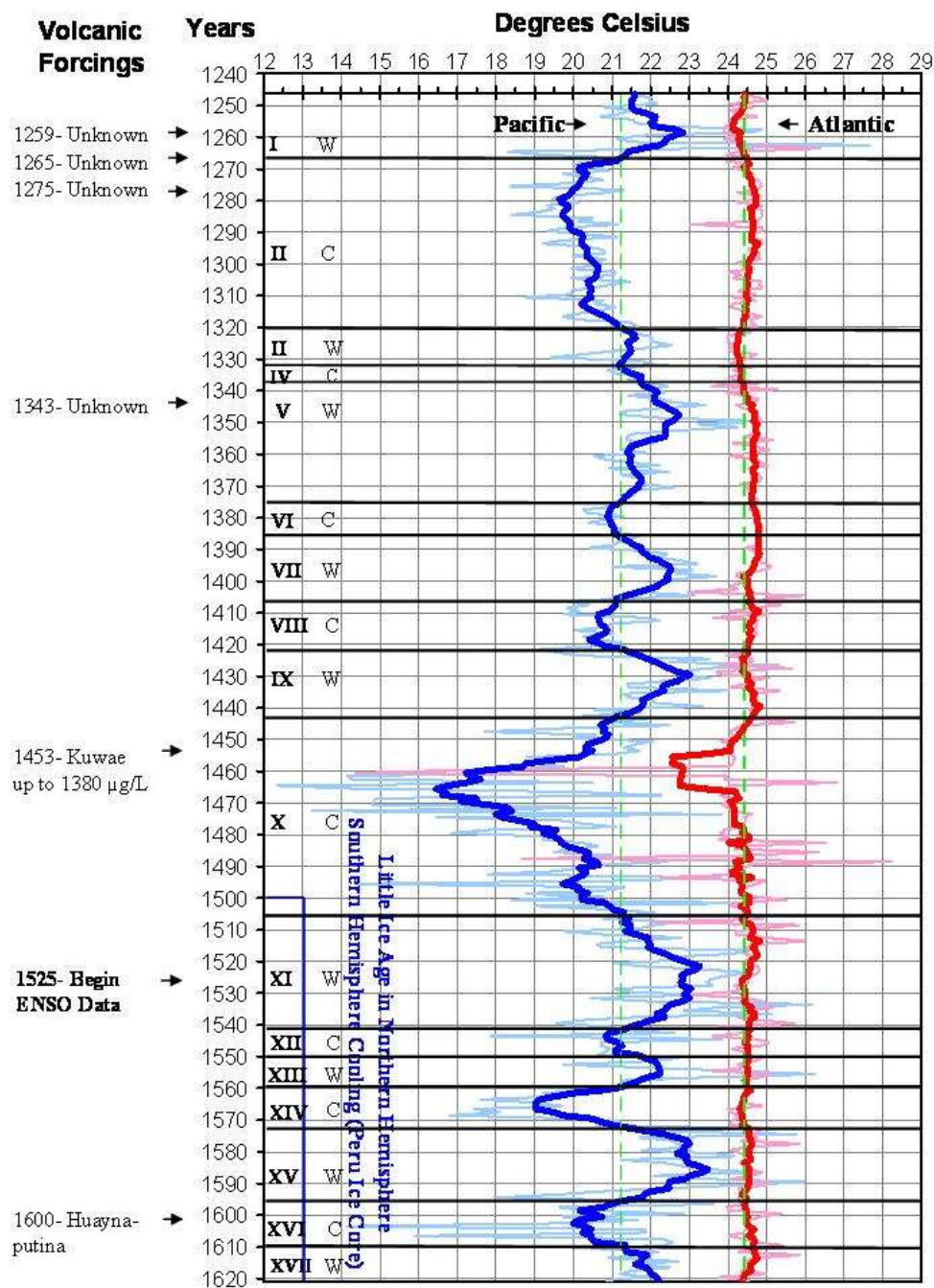


Figura 18a:

Reconstrucción de la Temperatura Superficial del Mar (SST) en América del Sur entre 1246 y 1620.

Azul = Pacífico;

Rojo = Atlántico.

Las líneas delgadas muestran los datos anuales y las gruesas el “smoothing” por promedio móvil de 10 años.

Las líneas de guiones verdes muestran la temperatura promedio para el período 1246-2000.

W = cálido,

C = fresco.

A la izquierda se indican los eventos volcánicos estudiados por Zhou et al (2006) en el hielo antártico (de D’Antoni y Mlinarevic 2002, modificado).

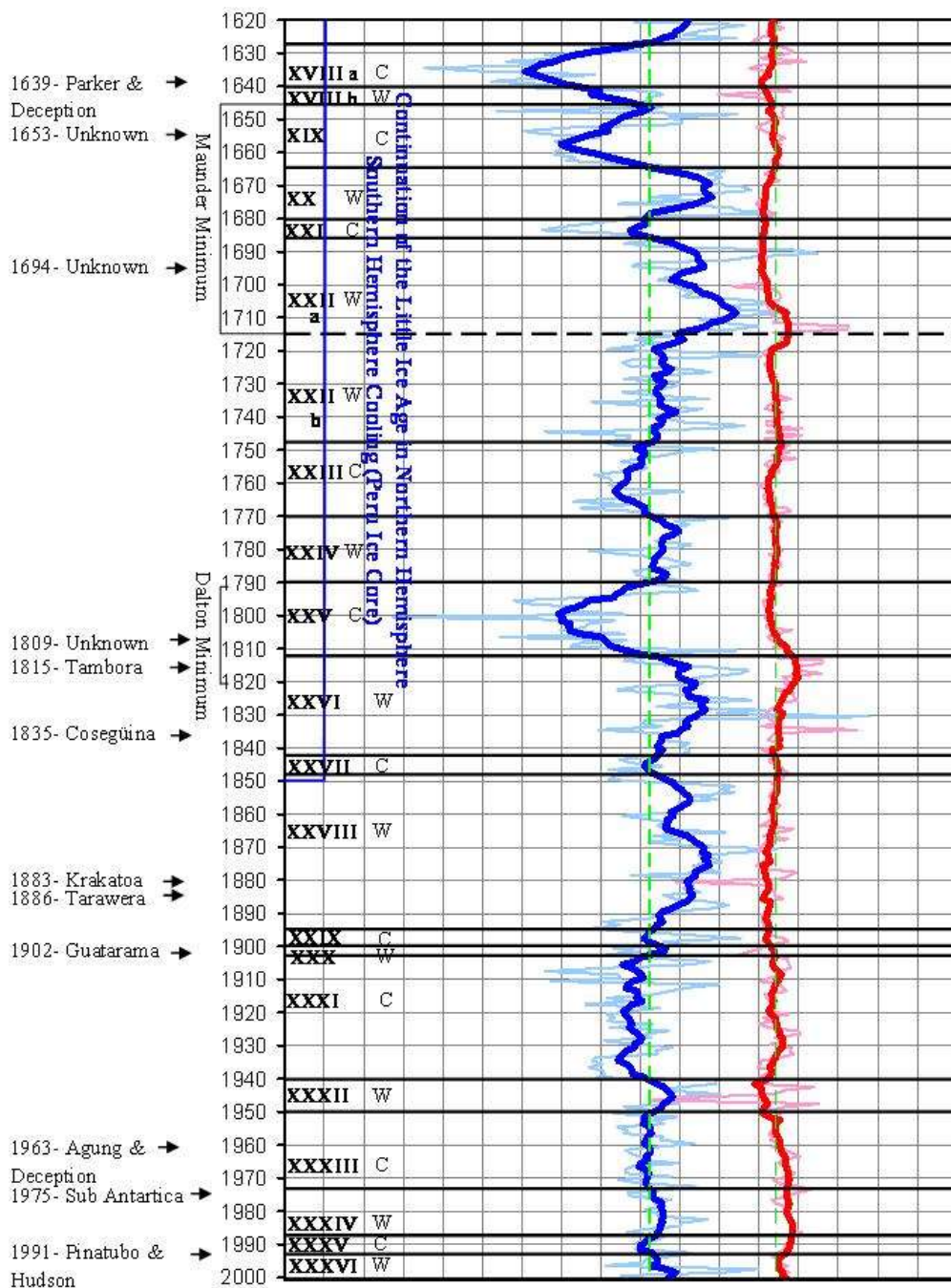


Figura 18b:

Reconstrucción de la Temperatura Superficial del Mar (SST) en América del Sur entre 1620 y 2000.

Azul = Pacífico;

Rojo = Atlántico.

Las líneas delgadas muestran los datos anuales y las gruesas el "smoothing" por promedio móvil de 10 años.

Las líneas de guiones verdes muestran la temperatura promedio para el período 1246-2000.

W = cálido, C = fresco. A la izquierda se indican los eventos volcánicos estudiados por Zhou et al (2006) en el hielo antártico (de D'Antoni y Mlinarevic 2002, modificado).

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Con Mlinarevic demostramos que el fenómeno “El Niño” ocurre desde mucho antes de la Revolución Industrial. Los episodios recientes no parecen tener la magnitud de aquellos ocurridos antes de la Revolución Industrial.

Conclusión

El *calentamiento global* puede reducirse controlando la deforestación, el uso de combustibles fósiles, reciclando materiales y estableciendo una economía sostenible.

El *flujo de UV que llega a la Tierra* es alto aunque se ha estabilizado la concentración de ClO y otros agentes que aceleran la destrucción del O₃ estratosférico, pero el daño a la estratosfera persistirá aun.

Nuestro descubrimiento de *UV-C en la superficie* exige un replanteo de la teoría ya que probablemente se han asignado a la UV-B daños causados por la UV-C.

La *Tierra es un sistema integrado, donde toda acción tiene consecuencias* y por eso es nuestro deber contribuir a revertir el proceso en la medida de nuestras capacidades.

Referencias

- Aguirre de Cárcer, I., H.L. D'Antoni, M. Barboza-Flores, V. Correcher and F. Jaque, 2009, KCl: Eu²⁺ as a solar UV-C radiation dosimeter. Optically stimulated luminescence and thermoluminescence analyses, *Journal of Rare Earths* 27 (4), 579-583, August 2009.
- Bengtsson L., 1997, Modelling and Prediction of the Climate System, *Alexander von Humboldt-Stiftung Mitteilungen*, 69, 3-14. Bonn.
- Bradley, R.S., 1999, Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary, *International Geophysical Series*, 64, Harcourt Academic Press, San Diego.
- Bradley, R.S., 2003, Climate Forcing During the Holocene, in *Climate Change in the Holocene*, Mackay, Battarbee, Birks and Oldfield (eds.), Arnold, Hodder Headline Group, London.
- D'Antoni, H.L. and A. Mlinarevic, 2002, Past Sea Surface Temperature Derived from Tree Rings. *Astrobiology Science Conference*. Abstracts. Presenter 28. NASA Ames Research Center. Moffett Field, 2002.
- D'Antoni H., L. Rothschild, C. Schultz, S. Burgess and J. Skiles, 2007, *Geophysical Research Letters*, 34, L22704 doi 10.1029/2007GL031096, 2007.
- D'Antoni H.L., 2008, Arqueoecología Sistémica y Caótica, *Textos Universitarios* 41, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid.
- Philander, S.G., 2004, *Our Affair with El Niño*, Princeton University Press, 275p.
- Philander, S.G., 2000, *Is the temperature rising?* Princeton University Press, 262p.
- Zhou, L., L. Yuansheng, J. Cole-dal, T. Dejun, S. Bo, R. Jiawen, W. Lijia and W. Henian, 2006, A 780-year record of explosive volcanism from DT263 ice core in east Antarctica, *Chinese Science Bulletin* [Volume 51, Number 22](#), 2771-2780, DOI: 10.1007/s11434-006-2164-3