



CICTERRÁNEA

- Revista de Divulgación en Ciencias de la Tierra -

ISSN 2618-2122

Todo es polvo en el viento

El rol del polvo atmosférico
en el clima del presente y del pasado

El peligro volcánico en Argentina

¿Qué sabemos y qué falta saber?

El mar paleozoico de la región cuyana

Un paseo por el Caribe de la Precordillera Argentina

CICTERRA

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DE LA TIERRA

¿Qué es el CICTERRA?

Es un centro de investigación multidisciplinar dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), vinculado con la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Fue creado por resolución del CONICET el 31 de Mayo de 2007.

¿Qué hacemos?

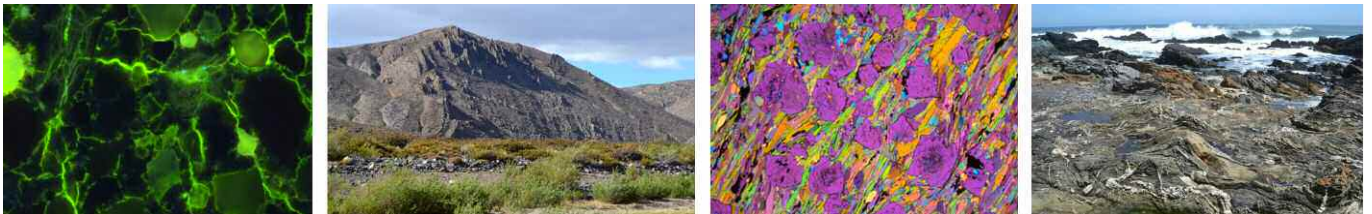
Desarrollamos proyectos de investigación en diferentes temas dentro de las Ciencias de la Tierra como Geología, Geoquímica, Paleontología y Paleobiología. Realizamos docencia de grado y de posgrado, actividades de extensión y transferencia de conocimiento. Efectuamos asesorías técnicas a entidades públicas y empresas privadas.

¿Quiénes somos?

Somos miembros de la Carrera del Investigador Científico y del Personal de Apoyo de CONICET, Profesores e Investigadores de la UNC, Becarios Doctorales y Posdoctorales del CONICET o FONCYT y Personal Administrativo. En la actualidad el CICTERRA cuenta con una planta de más de 100 integrantes.

Líneas de Investigación

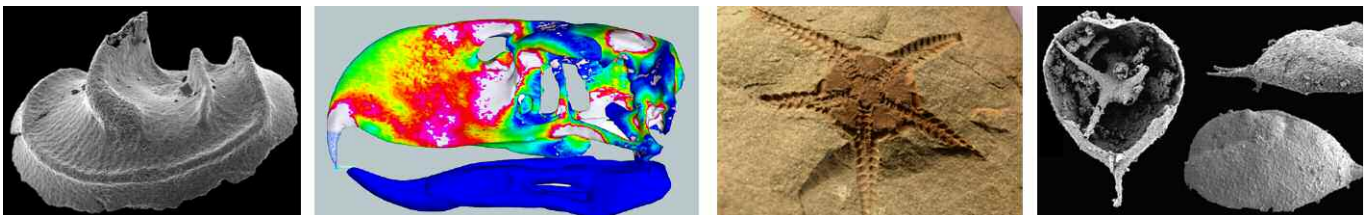
Dinámica de la litósfera – astenósfera



Variabilidad hidroclimática y procesos geo-ambientales



Evolución de la diversidad biológica



Nuestro desafío consiste en comprender una amplia gama de procesos naturales que tienen lugar desde las capas más profundas del planeta hasta su superficie y desde su formación hasta el presente. Aspiramos a que nuestra experiencia y conocimiento sea un aporte al bienestar de la sociedad.

Es una alegría para el equipo editorial compartir un nuevo número de Cicterránea. Un producto comunicacional elaborado gracias al trabajo colaborativo de numerosos actores convencidos de que es muy importante recorrer el camino de la democratización del conocimiento generado en nuestro Centro. Este tercer número de Cicterránea asoma en una coyuntura muy particular: la transición entre dos gobiernos, uno que culmina su gestión habiendo producido un feroz ajuste al sistema científico y otro que asumirá a la brevedad y que augura profundos cambios.

El desmantelamiento del sistema fue denunciado reiteradamente por la comunidad científica nacional e internacional a lo largo de los últimos cuatro años. La exclusión de jóvenes investigadores; el virtual estancamiento de proyectos de investigación debido a la profunda devaluación o, incluso, suspensión de pagos de los fondos aprobados; el retraso en la entrega de las partidas destinadas al funcionamiento de los institutos de investigación; el incumplimiento de los compromisos acordados en proyectos de cooperación internacional; el marcado retraso salarial; la disolución del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva son sólo algunos ejemplos de las decisiones políticas de la administración saliente.

Una arista no menor de este plan de desmantelamiento fue el desprestigio comunicacional de las instituciones científicas, de su organización interna, de sus planes de investigación, de sus investigadores. La difusión deliberada de información sesgada y engañosa, potenciada por la complicidad de algunos medios y amplificadas por las redes sociales, fue un intento de manipular la percepción de la sociedad acerca de los logros y prestigio del CONICET y otras instituciones del sistema científico argentino.

Frente a ésto, tenemos la convicción que la comunicación pública de la ciencia es una herramienta fundamental para deconstruir ese relato que permanece instalado en ciertos sectores de la sociedad. Visibilizar nuestras investigaciones y mejorar nuestras rutinas de comunicación a través de acciones transversales es un desafío permanente que aspira lograr la apropiación social de la ciencia. Aunque hoy vislumbramos un escenario distinto, la reconstrucción del sistema científico no va a ser sencilla ni rápida. Pero la esperanza de un futuro mejor es motivación más que suficiente para continuar con este modesto aporte: compartir con la sociedad nuestro trabajo cotidiano.

Beatriz Waisfeld y Emilia Sferco

Año 3
Número 3 – 2019
ISSN 2618-2122

COMITÉ EDITORIAL

Editoras responsables

Dra. Beatriz G. Waisfeld
Dra. Emilia Sferco

Comité editor

Gga. Cecilia Echegoyen
Dra. Sandra Gordillo
Ing. Nexxys C. Herrera Sánchez
Lic. Fernando J. Lavié
Dra. Cecilia E. Mlewski
Dra. Gisela Morán
Dr. Diego F. Muñoz
Dra. Fernanda Serra
Mgrtr. Eliana Soto Rueda

Diagramación y diseño gráfico

Paula Benedetto

Corrección de estilo

Dr. Alberto M. Díaz Añel

Foto de Tapa: Vista del cerro Ciénaga en el complejo volcánico de Pocho, Córdoba (foto: I. Petrinovic).

Esta revista de formato digital se publica de manera desinteresada con la finalidad de difundir la actividad e investigación del CICTERRA. Los artículos y opiniones firmadas son exclusiva responsabilidad de los autores o editores. Lo expresado por ellos no refleja necesariamente la visión o posición de la Institución.

Contacto: cicterranea@gmail.com
www.cicterra.conicet.unc.edu.ar/revista-cicterranea/

Seguinos en:



C I C T E R R A



Director: Dr. N. Emilio Vaccari
Vicedirectora: Dra. Cecilia del Papa

Contacto:
secretariacicterra@fcefyn.unc.edu.ar
Av. Vélez Sarsfield 1611,

X5016GCB Córdoba, Argentina
Teléfono: +54 351 535-3800 ext. 30200
www.cicterra.conicet.unc.edu.ar

Todo es polvo en el viento



El rol del polvo atmosférico en el clima del presente y del pasado



Grupo de Aerosoles Minerales y Paleoclima. Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CONICET-FCEyN-UNC). De izquierda a derecha: Dr. Lucio Simonnella, Dr. Nicolás Cosentino, Geóloga Renata Coppo, Dr. Diego Gaiero e Ing. Verónica Tur. También son parte del equipo: Dra. Gabriela Torre, Dra. María Laura López, Dra. Estefanía Gili y Dra. Miriam Palomeque.

“Polvo en el viento, cada cosa que existe es puro polvo volando en el viento”, expresaron en su famosa canción, “Dust in the wind”, el grupo Kansas. Usamos esta hermosa alegoría como título de este artículo para explicar cómo el estudio de las partículas minerales (polvo atmosférico) a través de su traslado motorizado por el viento sobre la superficie de la Tierra puede ayudarnos a comprender aspectos relacionados al clima pasado de la Tierra, las modificaciones de la biogeoquímica de los océanos o cómo intervienen en la formación de las nubes.

...Everything is dust in the wind...

Todo es polvo en el viento... pero antes de ser suspendido en la atmósfera este material sedimentario fue parte de una roca, de una región, y fue trasladado por el viento grandes distancias para luego ser devuelto a la superficie de la Tierra, en otro lugar, y formar parte de un nuevo ambiente sedimentario que, eventualmente y en un tiempo suficientemente largo, forma parte de la superficie terrestre como roca. Algunos aspectos del ciclo del polvo atmosférico (también se lo puede encontrar en diferentes textos como aerosoles minerales o sedimentos eólicos) (Figura 1) tienen gran interés científico, permitiendo entender aspectos del clima pasado de la Tierra como así también procesos climáticos actuales que ocurren en la atmósfera mediados por partículas sedimentarias.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) (<https://www.ipcc.ch/>) señaló al polvo atmosférico como uno de los parámetros menos conocidos en su interacción con otros componentes de la atmósfera. Además, indicó la existencia de una amplia incertidumbre acerca del rol que éste juega sobre el balance radiativo terrestre –equilibrio que se establece entre los flujos de energía entrante y saliente del planeta– motivando así el interés de la comunidad científica internacional. Uno de los lugares de la Tierra donde

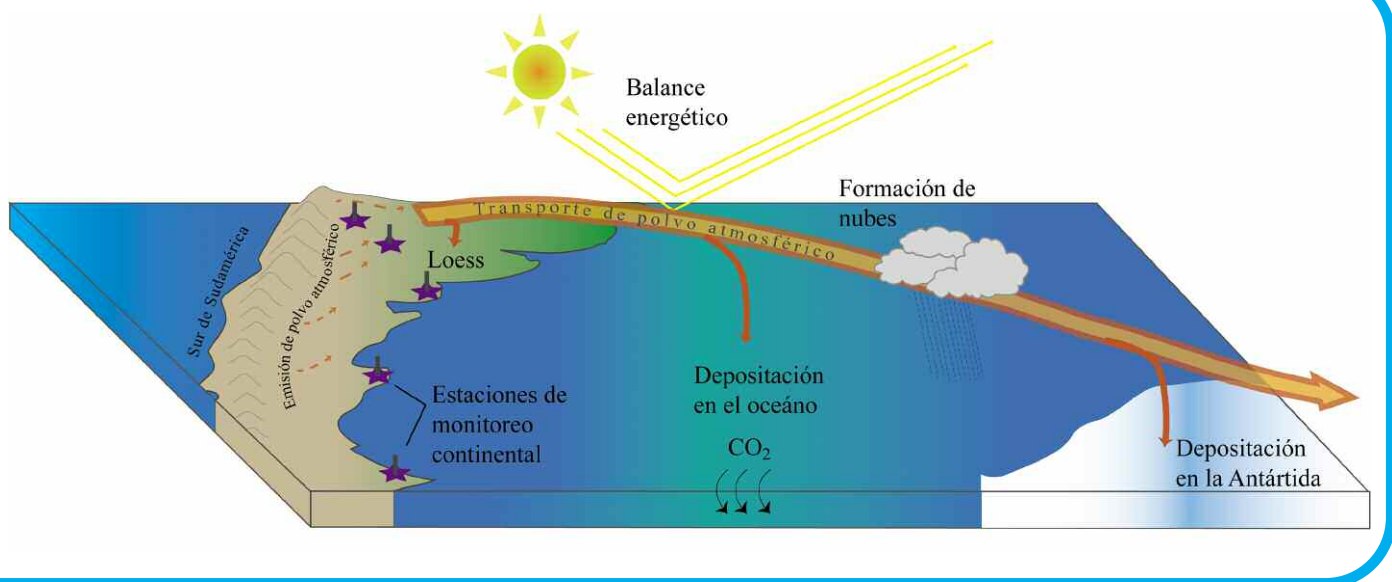


Figura 1. Ciclo completo del polvo atmosférico en el sur de América del Sur, océano Atlántico Sur y Antártida.

mejor puede ser estudiada la interrelación entre el polvo atmosférico y el clima o del clima regulando el ciclo del polvo atmosférico, es el hemisferio sur. Aquí, la conexión entre los materiales eólicos (transportados por el viento) que son desprendidos de las superficies áridas del sur de América del Sur y su acumulación en sectores continentales (región pampeana), marinos (Océano Austral) y polares (Antártida) han llamado la atención de la comunidad científica internacional al tratar de decodificar aspectos del clima planetario. Para ello, se puede utilizar, entre otras variables, el polvo atmosférico para entender las posibles causas y efectos de este ciclo sobre los grandes cambios climáticos que actuaron sobre la Tierra en el último millón de años.

Diferentes aspectos del ciclo del polvo atmosférico están siendo abordados por nuestro grupo de investigación dentro del Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA), y en esta contribución intentamos dar a conocer aspectos de una línea de investigación que es única en el contexto de las actividades científicas desarrolladas en Latinoamérica.

Emisiones de aerosoles minerales en el sur de América del Sur

El material sedimentario presente en la superficie de los grandes desiertos del mundo está compuesto por una colección de granos minerales: los más pequeños son las arcillas (con diámetros menores a 4 micrómetros: la millonésima parte de un metro), luego siguen los limos (entre 4 y 63 micrómetros) y finalmente las arenas (más de 63 micrómetros).

Pero, ¿cómo es que estos materiales se desprenden de la superficie de la Tierra para incorporarse a la atmósfera y comenzar el ciclo del polvo atmosférico? Existen muchas variables ambientales que regulan este proceso, una de las más importantes es la velocidad del viento. Cada uno de los tamaños característicos del material sedimentario podrá ser levantado e incorporado a la atmósfera si se alcanzan velocidades mínimas de viento. Las partículas más finas (arcillas) podrán ser levantadas con menor intensidad de viento, mientras que las más gruesas (arenas) requerirán mayores velocidades del mismo. Sin embargo, el viento no es la única variable a considerar, dado que la humedad del suelo donde se alojan estas partículas, así como la vegetación que las circunda, también limitan la posibilidad de generar emisiones de polvo atmosférico.

Las principales emisiones modernas de polvo atmosférico se dan en la zona ecuatorial de los continentes de África y Asia, en el hemisferio norte. Sin embargo, existen varias razones por las cuales es de interés estudiar estos fenómenos en el sur de América del Sur. Por un lado, se observó la existencia de un cambio sustancial entre la gran cantidad de polvo atmosférico transportado durante períodos glaciares en comparación con períodos interglaciares de nuestro planeta, y este cambio ha sido mucho más pronunciado en zonas de altas latitudes, como en el sur de América del Sur, que en zonas ecuatoriales. Por otro lado, si bien las emisiones de polvo atmosférico en los continentes del hemisferio sur son bajas comparadas a aquellas de los continentes del hemisferio norte, investigaciones recientes sugieren que las



Figura 2. Tormentas de polvo en las principales zonas generadoras de aerosoles minerales en el sur de América del Sur, y captos pasivos utilizados para medir el flujo de polvo atmosférico. Imágenes satelitales tomadas de NASA WorldView (<http://worldview.earthdata.nasa.gov>).

variaciones en las emisiones de polvo atmosférico durante los últimos ciclos glaciares-interglaciares desde el sur de América del Sur pudieron tener un efecto climático desproporcionadamente más importante.

Nuestro grupo de investigación ha estado trabajando desde el año 2004 en el desarrollo de un programa regional de monitoreo para establecer los flujos de polvo atmosférico en el sur de América del Sur. Como puede verse en las Figuras 1 y 2, instalamos cinco estaciones de monitoreo (estrellas violetas) que miden la intensidad del flujo horizontal (en tránsito) y la deposición de este material atmosférico. Estas estaciones se encuentran próximas a las principales fuentes de sedimentos eólicos de las zonas desérticas del sur de América del Sur: el Altiplano Boliviano y la Puna Argentina, el centro-oeste de Argentina y la Patagonia. Una

parte del material eólico emitido en estas zonas desérticas se ha depositado, y continúa haciéndolo, en sectores cercanos a su emisión (cientos de metros a miles de kilómetros) y es

Si bien las emisiones de polvo atmosférico en los continentes del hemisferio sur son bajas comparadas a aquellas de los continentes del hemisferio norte, investigaciones recientes sugieren que las variaciones en las emisiones de polvo atmosférico durante los últimos ciclos glaciares-interglaciares desde el sur de América del Sur pudieron tener un efecto climático desproporcionadamente más importante

El papel de los aerosoles minerales como nucleantes no sólo trae consecuencias sobre la formación de las nubes y sus efectos sobre el ciclo hidrológico. También afecta la distribución de radiación solar en la atmósfera

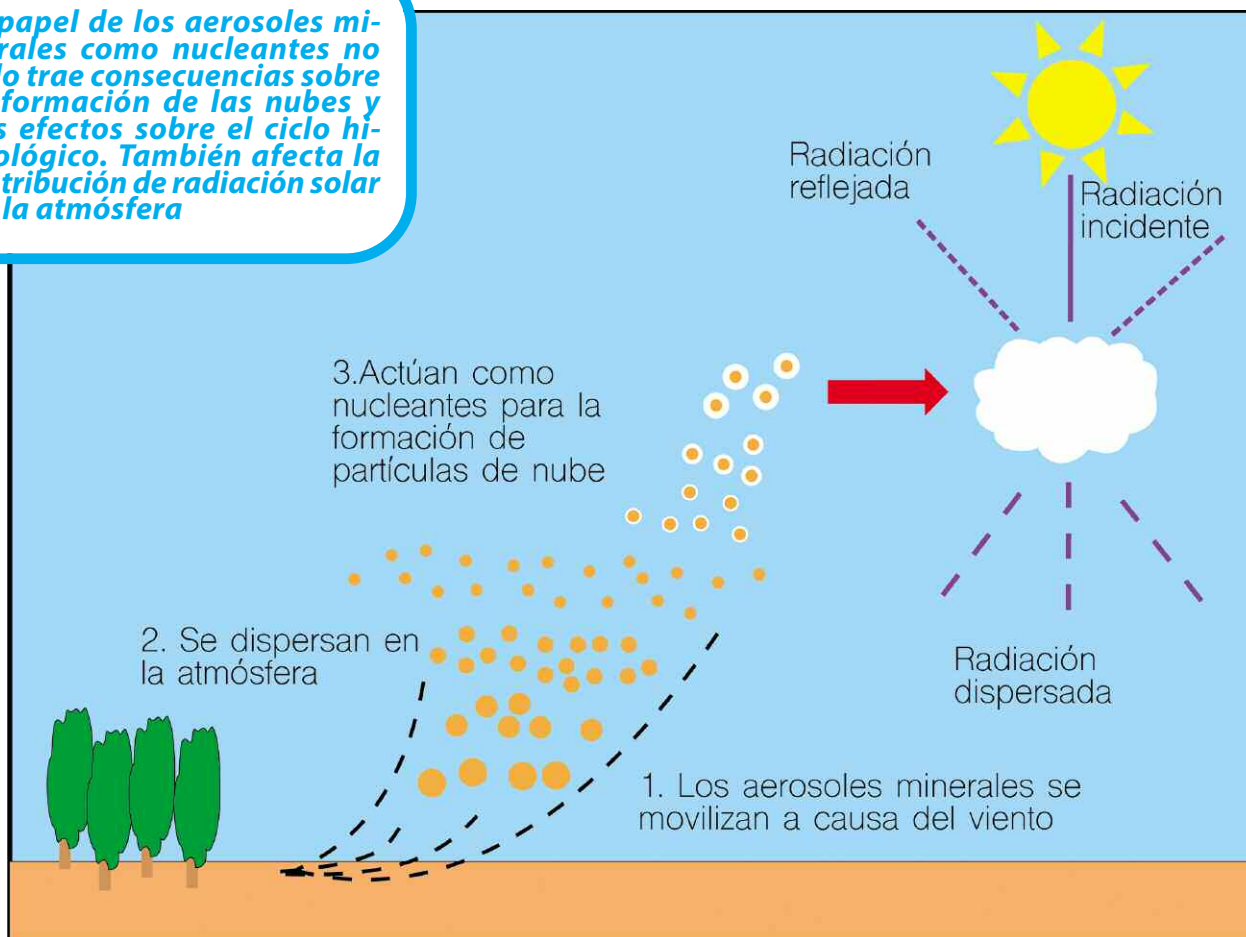


Figura 3. Esquema representando el papel de las partículas minerales en la formación de las nubes y sus efectos sobre la distribución de radiación solar.

lo que se conoce como el “loess pampeano”. Una porción importante del material eólico emitido es transportado más allá del continente, pudiendo ser depositado en el Océano Austral, o tan lejos como el continente Antártico. En su camino hacia estos ambientes distales, tienen lugar múltiples procesos atmosféricos que, dependiendo de su intensidad y características, pueden participar en alteraciones del clima regional.

El polvo atmosférico y la formación de nubes

La emisión de polvo atmosférico del sur de América del Sur también constituye un laboratorio natural para el estudio del papel de los aerosoles minerales sobre la formación de hielo en las nubes. Estas últimas son el resultado visible del ascenso de las parcelas de aire y la posterior condensación o deposición del vapor de agua contenido en dichas parcelas. Están compuestas por aire saturado de vapor, pequeñas gotas de agua y/o cristales de hielo. Pero, ¿cómo se forman estas gotitas y partículas de hielo? Ante esta pregunta la respuesta

que inmediatamente se nos viene a la mente es “a partir del agua presente en la atmósfera”. Esto es correcto, pero la formación de una partícula de nube a partir sólo de agua requiere de una presión de vapor muy grande para mantener la nueva fase en equilibrio. Es por esto que, además de agua, la formación de las partículas de nube necesita de una superficie sobre la cual el agua se deposite o condense. A esta superficie la brindan los “núcleos de condensación”, que darán origen a las gotitas de agua líquida, y los “núcleos de hielo”, que darán origen a los cristales de hielo en las nubes. Estos núcleos son partículas microscópicas -aerosoles- presentes en la atmósfera (Figura 3).

Los aerosoles minerales han sido identificados como uno de los más importantes núcleos de hielo que actúan no sólo en lugares cercanos a sus fuentes sino también a miles de kilómetros de las regiones de origen, ya que son los más comúnmente transportados en la atmósfera. Dado que estos aerosoles también han sido identificados como los que realizan la mayor contribución de masa al material particulado atmosférico, su rol como núcleo de hielo es muy importante



Figura 4. A mediados de abril de 2016, un espectacular surgimiento de colores vivos decoraba el océano Atlántico Sur frente a Península Valdés, Argentina. Este fenómeno ocurre durante aumentos abruptos de la actividad biológica en la superficie de los océanos. Imagen tomada por el satélite MODIS NASA (<http://modis.gsfc.nasa.gov>).

y motivo de estudio de numerosos trabajos científicos recientes.

El papel de los aerosoles minerales como nucleantes no sólo trae consecuencias sobre la formación de las nubes y sus efectos sobre el ciclo hidrológico. También afecta la distribución de radiación solar en la atmósfera dado que ésta sufre modificaciones en dirección y/o intensidad al incidir sobre las partículas de nube. Esto afecta directamente la cantidad de radiación solar que alcanza a la superficie terrestre, tal como se muestra en la Figura 3.

Si bien muchos trabajos analizan el rol de los aerosoles minerales colectados en las zonas áridas más importantes del planeta, esta información es escasa no sólo en América del Sur, sino en el hemisferio sur en general. Contribuir al conocimiento del papel de estos aerosoles en la formación de hielo es una línea de trabajo reciente que desde el CICTERRA se está desarrollando en colaboración con investigadores de la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (FaMAF) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

La relación entre el polvo atmosférico y el principal gas de efecto invernadero de la atmósfera

El crecimiento del fitoplancton marino depende en gran medida de la presencia del hierro para fijar el carbono fotosintético, lo que hace que este metal sea un nutriente esencial y limitante de la proliferación planctónica en la superficie del océano (Figura 4). El transporte atmosférico de sedimentos eólicos y la posterior deposición en la superficie del océano es una importante vía de entrada de hierro. El polvo atmosférico puede contener entre 3 y 4 % de hierro formando parte de distintas especies químicas y por lo tanto las regiones oceánicas, viento abajo de regiones desérticas, pueden recibir grandes cantidades de hierro biodisponible dependiendo de la solubilidad en agua de mar de estas especies químicas. De esta manera, se cree que el hierro juega un rol importante controlando el ciclo del carbono a través del fitoplancton (consumo de CO_2) y por lo tanto podría modular el clima global.

Figura 5. Ejemplos de distintos tipos de archivos climáticos. De arriba hacia abajo vemos: depósitos cercanos (loess), depósitos medios (océano) y depósitos lejanos (Antártida). A la derecha se ven los distintos tipos de muestras tomadas para cada tipo de archivo. Fuente de las fotos: IODP (Archivos oceánicos), British Antarctic Survey (Archivos antárticos).



Si los flujos de polvo atmosférico/hierro fueron mayores durante los ciclos glaciares, ¿se habrá producido una retroalimentación entre el incremento de la deposición de hierro y la disminución de las concentraciones de CO₂ atmosférico? Experimentos de fertilización sobre la superficie de los océanos tratan de dar respuesta a esta pregunta. Estos experimentos han demostrado que las comunidades de fitoplancton responden rápidamente a los estímulos del hierro introducidos artificialmente y se ha planteado la hipótesis de que el clima del planeta puede ser influenciado por cambios de flujos de polvo atmosférico al océano.

Hoy en día sabemos que la huella de la actividad humana tanto en la superficie del océano como en la atmósfera inferior aumenta de forma notable, como lo demuestran los cambios en la composición y en la concentración de gases (por ejemplo, aumento de CO₂) y de aerosoles, la desoxigenación del océano, los cambios en los flujos de nutrientes hacia las regiones costeras, etc. Por lo tanto y al mismo tiempo, hay numerosas propuestas para manipular la composición atmosférica y oceánica con el objeto de mitigar los cambios climáticos que se pronostican. La factibilidad de la geoingeniería a escala global es un tema controversial tanto para el público en general como para la comunidad científica. Actualmente la fertilización inducida de los océanos del tipo HNLC con hierro (por sus siglas en inglés, con suficientes nutrientes pero baja productividad primaria), es considerada como una de las posibles líneas de investigación que permitan incrementar la captura de carbono atmosférico y mitigar su constante incremento.

Fuera de estas ideas dirigidas hacia una manipulación humana del sistema climático global, lo que está claro sin embargo es la creciente necesidad social de un detallado y preciso entendimiento de los procesos reguladores oceánicos y atmosféricos y sus interacciones con el sistema climático.

El loess pampeano como archivo climático del pasado

Cuando pensamos sobre la posible influencia de la presencia masiva de polvo atmosférico en el sistema climático, una pregunta que nos hacemos es cómo influyó éste sobre los grandes cambios climáticos en el pasado. Para responder esto recurrimos a archivos climáticos, que son depósitos sedimentarios específicos que contienen información sobre las condiciones en las que los sedimentos fueron transportados y posteriormente depositados.

Debido a que las trayectorias del polvo atmosférico pueden ser muy largas, es posible encontrar archivos climáticos cercanos, lejanos, y a medio camino de las fuentes de origen del material eólico. Como ya se mencionó antes, en el caso del hemisferio sur, los depósitos de polvo atmosférico más importantes pueden encontrarse en la llanura pampeana (depósitos cercanos a la fuente), el Océano Austral (distancia media de la fuente), y el continente Antártico (depósitos lejanos a la fuente (Figura 1)). Cada uno de estos archivos presenta características particulares y, por lo tanto, se necesitan métodos de estudio particulares. La Figura 5 muestra los distintos tipos de archivos climáticos y las formas en las

El crecimiento del fitoplancton marino depende en gran medida de la presencia del hierro para fijar el carbono fotosintético, lo que hace que este metal sea un nutriente esencial y limitante de la proliferación planctónica en la superficie del océano. El transporte atmosférico de sedimentos eólicos y la posterior deposición en la superficie del océano es una importante vía de entrada de hierro

que se extraen muestras para su estudio. Los archivos paleoclimáticos más cercanos se diferencian de los oceánicos y los polares ya que son encontrados en ambientes terrestres, pudiendo ubicarse tanto en grandes planicies como en lagos. Dentro de nuestro equipo de investigación nos concentramos en el estudio de este último tipo de archivos, ya que pueden darnos información sobre las condiciones climáticas dominantes sobre la región.

Cuando el polvo atmosférico se deposita sobre la superficie terrestre, se acumula por años y forma un depósito sedimentario denominado loess (del alemán, löss; frangible, ligero, poco compacto). Eso es lo que ocurrió en la región Pampeana durante miles de años; esta región es una vasta depresión del relieve que alberga decenas de metros de material sedimentario depositado por el viento; constituye una de las praderas con los suelos más fértiles del mundo y es hogar de la mayor parte de la población argentina. Los depósitos de loess representan los depósitos de mayor espesor y extensión del hemisferio sur, y constituyen un archivo continental de los cambios climáticos regionales que ocurrieron durante los últimos 2 millones de años.

Cuando el polvo atmosférico se deposita sobre la superficie terrestre, se acumula por años y forma un depósito sedimentario denominado loess. Los depósitos de loess representan los depósitos de mayor espesor y extensión del hemisferio sur, y constituyen un archivo continental de los cambios climáticos regionales que ocurrieron durante los últimos 2 millones de años

Para que se forme un depósito de loess tiene que existir un área fuente que provea material durante un período prolongado, una corriente eólica constante que lo pueda transportar, y un sitio de acumulación o un fenómeno atmosférico (por ejemplo, lluvia) capaz de hacer descender y retener las partículas depositadas. A través del estudio del depósito generado podemos obtener información sobre todos los procesos que intervinieron en su formación. Esta información nos permite además deducir cambios en la extensión e intensidad de la aridez continental, la expansión y duración de las glaciaciones, las variaciones en la circulación atmosférica global, entre muchas otras evidencias que son utilizadas en la generación de modelos climáticos globales.

Un avance reciente, clave en la comprensión de la dinámica del polvo atmosférico, es la determinación del origen del sedimento depositado en un registro eólico. Identificar el área fuente del polvo atmosférico, y conocer así las corrientes de aire que lo transportaron, puede proporcionar los medios necesarios para interpretar qué sistemas de viento dominaron temporalmente en una ubicación particular y, además, permite ayudar a comprender cambios en los patrones de circulación atmosférica que ocurrieron en el pasado. Actualmente nos enfocamos en entender cómo fue la circulación atmosférica durante el último ciclo glacial, prestando especial atención al Último Máximo Glacial, un período que ocurrió aproximadamente entre los 19 mil a 26 mil años antes del presente, y que representa la última vez en la historia de la Tierra en la que los casquetes glaciares estuvieron en su máxima extensión. Comprender cómo se comportaron las distintas variables climáticas durante los grandes cambios climáticos en el pasado puede ser la clave para entender el funcionamiento del sistema climático actual y futuro.

Perspectivas

En el CICTERRA se desarrolla una línea de investigación que trata de entender el ciclo de los sedimentos, desde su presencia en la superficie de los desiertos sudamericanos

hasta su transporte atmosférico hacia diferentes ambientes del hemisferio sur. Desde el año 2004 pusimos especial énfasis en entender aspectos modernos de este ciclo instalando estaciones de monitoreo a lo largo de la Diagonal Árida Sudamericana, la cual incluye la Puna argentina y el Altiplano boliviano, la región de Cuyo y Patagonia. A partir de una mayor comprensión del ciclo moderno del polvo atmosférico, nuestro grupo está tratando de responder nuevas preguntas científicas: ¿cuál fue la intensidad de los flujos de polvo atmosférico durante el último ciclo glacial y cuál fue su efecto sobre el clima? ¿el polvo atmosférico de América del Sur tiene la capacidad de fertilizar el Océano Austral aportando hierro? ¿la presencia de estas partículas minerales en la atmósfera del hemisferio sur contribuye a la formación de las nubes? Las respuestas a estos interrogantes plantean nuevas preguntas que, en conjunto, nos permitirán realizar aportes significativos al estudio de la variabilidad climática de la Tierra y al mejoramiento de los modelos que tratan de predecir tal variabilidad a futuro.

G

Glosario

Aerosoles minerales: pequeñas partículas compuestas de sedimentos y rocas que están suspendidas en el aire y son acarreadas por el viento.

Fitoplancton marino: microorganismos autótrofos que viven dispersos en las aguas superficiales de los océanos.

Retroalimentación: proceso por el cual una cierta proporción de la salida de un sistema se redirige a la entrada de dicho sistema.

Geoingeniería: proceso de modificación artificial de alguna componente del Sistema Tierra para influir en el clima.