

# GRANDES CATÁSTROFES NATURALES\*

**Palabras clave:** meteoritos, asteroides, cometas, volcanes, supervolcanes, explosiones solares, tormentas solares, tormentas geomagnéticas, catástrofes naturales.  
**Key words:** meteorites, asteroids, comets, volcanoes, supervolcanoes, solar explosions, solar storms, geomagnetic storms, natural disasters, natural catastrophes.

\* Este trabajo recibió el "Premio Dr. Eduardo Braun Menéndez" 2012 correspondiente al mejor trabajo de divulgación científica, otorgado por la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC).

Se describe y analiza tanto el proceso como las consecuencias que puede llegar a tener para la vida y nuestra civilización un acontecimiento natural pero de extraordinaria magnitud como lo son: el impacto de un gran asteroide, la erupción de un supervolcán y una megaexplosión solar dirigida hacia la Tierra. Eventos que ya han sucedido en el pasado, en varias ocasiones, con consecuencias seriamente trágicas y que tienen el riesgo de poder volver a repetirse en cualquier momento. Se considera la capacidad y posibilidades que tenemos de prevenir y mitigar tales hechos.



## Juan Roberto de Xammar Oro

Dr. En Física, miembro de la Carrera del Investigador del CONICET (J) y Profesor de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP (J).

xammar@argentina.com

It describes and analyzes both the process and the consequences that might have for life and our civilization a natural occurrence but of extraordinary magnitude as they are: the impact of a large asteroid, the eruption of a supervolcano and a solar megaexplosion directed toward the Earth. These events have already happened in the past, on several occasions, with seriously tragic consequences and which are at risk of being able to recur at any time. The capacity and possibilities that we have to prevent and mitigate such events is considered.

*"En principio parece ser que somos parte de un universo en permanente evolución, con procesos continuos que lleven tanto a creación como a destrucción, por lo que nuestra existencia sería solo una aventura temporal. Pero tal vez no sea así, podría haber algo muy profundo que aún desconocemos"*

## ■ INTRODUCCIÓN

Nuestro planeta Tierra como el Sistema Solar, la Vía Láctea y todo el Universo no son sistemas dinámicos estables y mucho menos en equilibrio, muy por el contrario, son sistemas altamente cambiantes con dinámicas en escalas de tiempos asombrosamente diferentes, así encontramos fenómenos desde  $5,39 \times 10^{44}$  s (*Tiempo de Planck* – **Ver Glosario**) a fenómenos de miles de

millones de años. Esta dinámica del Universo, cumpliendo con las leyes físicas que la rigen, es la que desde el Big Bang hasta el presente dio lugar a creaciones de galaxias y cúmulos de ellas, con nebulosas, agujeros negros, estrellas, planetas, asteroides, cometas, radiaciones, etc. y a nivel microscópico desde moléculas, átomos, protones y neutrones hasta las partículas elementales: fermiones y bosones. En particular en nuestro planeta toda esta dinámica también dio lugar al fenómeno vida y dentro de ésta a nosotros los humanos. Pero no debemos olvidar que una constante de la evolución de este Universo es que todo lo que en un tiempo nace (*se crea*) en otro tiempo muere (*se destruye*), "**Ley de Principio y Fin**". Por lo que sabemos hasta ahora nada parece ser eterno.

Todos tenemos una idea de la

historia de la humanidad y conocemos nuestra propia historia individual que cada uno habrá experimentado con más o menos momentos de alegría y paz pero somos conscientes que el premio se lo lleva el sufrimiento: las luchas para ganarnos el pan de cada día, las guerras, delincuencia, enfermedades, accidentes, hambre, fenómenos climáticos, etc. pero sucede que de yapa estamos sometidos al peligro latente tanto de comunes como de grandes catástrofes naturales, de estas últimas, que son los que pueden llegar a perjudicar globalmente a todo el planeta, tenemos impactos de asteroides importantes, supervolcanes y megaexplosiones solares, en tanto que con sólo alcances regionales están los terremotos, maremotos (*con sus posibles tsunamis*), inundaciones, huracanes, tornados y erupciones volcánicas comunes.

Todos estos fenómenos, a partir del momento en que se producen, se desenvuelven en tiempos muy cortos que en la práctica resultan poco más que instantáneos. También están los otros, que si bien llevan en desarrollarse un tiempo importante no son menos catastróficos, como el de significativos cambios climáticos (*habitualmente provocados por la propia dinámica de la naturaleza pero que en la actualidad se le suma la contribución dada por la intensa actividad humana*) de los cuales los científicos tienen buena información en cuanto al motivo y las épocas del pasado en que se produjeron dando lugar a grandes glaciaciones [*Temperaturas medias globales (Tmg) inferiores a 10 °C*] con fuerte descenso del nivel de los océanos y mares y épocas de máximo calentamiento (*Tmg de 17 a 20 °C*) llevando al proceso inverso, es decir, fuerte suba del nivel de los mismos. En el 2012 la Tmg se calculó en 14,45 °C. Sobre esto se tiene abundante conocimiento de los daños que produjeron en los ecosistemas dando lugar a importantes extinciones en los sistemas de vida. Las variaciones de los niveles oceánicos se calcula que fueron del orden de 70 a 120 m entre los casos más extremos.

Por razones de espacio el enfoque de este artículo se centra en comentar sólo aquellos fenómenos naturales que por su extraordinaria magnitud puedan llegar a dar lugar a lo que se reconoce como “**Grandes Catástrofes Globales**”, entendiéndose por ello los que poseen significativa probabilidad de producir perjuicio sobre toda la población mundial o gran parte de ella, incluyendo también la posibilidad de exterminio de nuestra civilización. Cumplen con este criterio los impactos de grandes asteroides, supervolcanes y megatormentas solares, en tanto que terremotos, inundaciones, huracanes, tornados y volcanes comunes siem-

pre mostraron ser sólo de perjuicio regional y es de los que más experiencia se tiene por la alta frecuencia en que se dan.

### ● A - IMPACTO DE METEORITOS, ASTEROIDES Y COMETAS

Llamamos Meteoritos (*ver en glosario otros términos*) a cuerpos que provienen del espacio exterior y que pueden tener tamaños desde microscópicos a unos 50 m de diámetro medio como máximo ya que para tamaños mayores se reserva el nombre de Asteroides. Los mismos están constituidos por elementos pesados, fundamentalmente silicio, hierro y níquel. Si predomina el primero reciben el nombre de rocosos o pétreos (*son los más numerosos, más del 90 %*) y si lo hacen los otros dos, metálicos. Sus velocidades de impacto pueden ser muy variables pero las que se han logrado medir resultaron del orden de 15 a 50 km/s. Estas velocidades no deben sorprendernos ya que la Tierra en su movimiento de traslación alrededor del Sol lo hace a una velocidad media de 29,8 km/s y todo nuestro Sistema Solar, en torno al centro de la galaxia, a 240 km/s, se calcula que tarda algo más de 200 millones de años en dar una vuelta completa. Sus densidades suelen estar entre 1.300 y 3.400 kg/m<sup>3</sup>. Aparte de sus tamaños, los dos parámetros señalados, de velocidad y densidad, son muy importantes para el cálculo del daño que pueden llegar a producir pero también influye el ángulo de impacto y si lo hace sobre aguas profundas o en suelos rocosos o sedimentarios.

En el caso de meteoritos al tomar contacto con la atmósfera terrestre, a esas grandes velocidades, la fricción con el aire hace que se calienten fuertemente y en consecuencia

empiecen a irradiar luz dando lugar a una bola de fuego que, si su luminosidad es superior a la del planeta Venus, (*Lucero*) se lo suele denominar Bólido. Si se trata de asteroides o cometas es lógico que dicha luminosidad sea de magnitud fuertemente mayor. Debido a la gran fricción los rocosos por lo general se van fragmentando al atravesar la atmósfera, no así los metálicos.

En la historia de nuestro planeta hubo muchos impactos importantes, uno de los más trascendentes fue el de un asteroide que cayó en la península de Yucatán (*cráter de impacto de Chicxulub de 180 km de diámetro, México*) hace aproximadamente 65 millones de años y se cree (*actualmente aceptado por la mayoría de los investigadores en el tema*) fue el motivo que dio lugar a la extinción masiva de muchas especies animales y vegetales (*en ambos casos tanto terrestres como marinos*), donde lo más llamativo para el común de la gente fue la de los grandes dinosaurios. Según estudios, su diámetro medio podría haber sido de entre 10 y 14 km y su velocidad de unos 25 km/s. Por supuesto que esta no fue la única extinción masiva que sufrió nuestro planeta ya que en los últimos 500 millones de años se conocen al menos diez episodios de diferente intensidad y causa, de los cuales cinco (*hace 444, 360, 250, 210 y 65 Millones de años*) fueron extremadamente importantes (*casi terminan con la vida en la Tierra*). Con respecto a la de hace 250 Ma vale la pena mencionar que en el 2006 fue hallado, en la zona oriental de la Antártida, el cráter de mayor dimensión originado por un impacto de asteroide, tiene 480 km de diámetro (*compárese con el de Yucatán*) y está sepultado a una profundidad de casi dos kilómetros bajo el hielo. Justamente se calculó que su impacto se produjo hace 250 millones de años y que aparte de

tal extinción también podría haber motivado o influenciado o al menos modificado las fracturas y derivas de las placas en que se disgregó Pangea que con el tiempo dio lugar a la situación actual de los continentes y océanos.

Los cometas en general están constituidos por elementos livianos, fundamentalmente por hielo, polvo y gases (*dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano y amoníaco*) y algunos pueden tener algo de roca. Ellos orbitan (*generalmente órbitas muy elípticas*) una estrella. Cuando se acerca a su estrella esos elementos livianos se evaporan (*particularmente el hielo*) y se forma la típica cola cometaria (*cabellera o coma*). Si bien los cometas están constituidos por elementos más livianos que los asteroides las secuelas de un impacto son similares ya que, en su gran mayoría, los cometas tienen velocidades mayores que los asteroides (*los observados de mayor velocidad fueron de unos 80 km/s cuando estaban cercanos a su perihelio*). Como ejemplo de cometa podemos tomar el tan famoso Halley (*visible a simple vista*) que nos visita cada 76 años. Se tiene noticias de su observación desde el año 240

aC. Tiene un núcleo de forma aproximadamente ovoidal de unos 15 por 7,5 km. y una densidad de 300 kg/m<sup>3</sup>. Se observó por última vez en las cercanías de nuestro planeta en 1986 y su próxima aparición ocurrirá a mediados de 2061.

Para analizar lo que sucedería con un impacto realmente catastrófico (*que son los que trata este artículo*) tomemos como hipótesis el de un asteroide con diámetro medio entre 8 y 15 km y velocidad de 20 a 40 km/s (*más o menos equivalente al de la península de Yucatán*). Una idea nos la da la **Figura A1**. Con un visitante así ya no sería importante si impacta sobre tierra firme o los océanos, la catástrofe sería de alcance absolutamente mundial y la vida en la Tierra eliminada como mínimo en un 75 % y por supuesto nuestra civilización volvería a tiempos primitivos (*adiós a la sociedad industrial y tecnológica*) con los pocos sobrevivientes, los que podrían actuar como semilla para dar lugar al nacimiento de una nueva era de civilización.

Las consecuencias inmediatas de un tal suceso fueron bien estudiadas (*inclusive con detallados modelos*

*de simulación computacional*) y son las que se describen a continuación:

**a)** Al entrar en contacto con la atmósfera desplaza aire dejando prácticamente un tubo con vacío a lo largo de su trayectoria, ese aire afectado puede llegar a temperaturas del orden de los 20.000 °C dando lugar a dos ondas de choque, una de presión y otra térmica, que inducen una turbulencia atmosférica de una energía realmente extraordinaria.

**b)** Cuando alcanza la superficie se produce, para este caso, una explosión del orden de 10<sup>7</sup> a 10<sup>8</sup> MT (1 MT = 1 Megatón = 10<sup>6</sup> Toneladas de TNT), aproximadamente equivalente a la explosión conjunta de mil millones de bombas atómicas como la de Hiroshima que fue de 18 KT (Kilotones), con su correspondiente generación de una onda expansiva (*desplazamiento de aire por onda de presión*) que se propaga a velocidades del orden de la del sonido (*velocidad del sonido 1.235 km/h*), lanzando gran cantidad de materia a la atmósfera. Luego de muchos años dejará como testigo de lo ocurrido una cavidad llamada "cráter de impacto" o "astroblema" cuyo tamaño y forma se alejará del original ya que con el paso del tiempo se producen desmoronamientos de sus paredes que rellenan parcialmente el fondo a lo que se suma el fenómeno de erosión y sedimentación por lluvias y vientos.

**c)** En la propia zona de impacto la temperatura puede superar los 100.000 °C y la onda térmica propagarse incinerando todo a su paso hasta unos 1.500 km a la redonda y luego, hasta unos 3.000 o 4.000 km, induciría un clima con un gradiente de temperaturas desde 300 a 50 °C.

**d)** Terremotos y maremotos debidos a la fuerza del propio impacto, pero además indirectamente al provocar sacudidas sobre las fallas y placas



**Figura A1:** Asteroide atravesando la atmósfera terrestre segundos antes de su impacto con la superficie. (Imagen de Internet)

tectónicas.

**e)** Activación de fallas, puntos calientes, grietas o hendiduras con posibles erupciones de lava (*actividad volcánica e incluso supervolcánica*).

**f)** Hasta distancias muy grandes llegan fuertes perturbaciones electromagnéticas dando como resultado cortes de energía eléctrica y daños directos en los equipos eléctricos y electrónicos. Demás está decir que las comunicaciones de todo el planeta quedarían interrumpidas.

**g)** La roca fundida en el lugar de impacto y luego expelida a la atmósfera (*en forma parecida al hongo de una explosión nuclear, pero descomunadamente mayor que lo conocido*) comenzaría a caer inmediatamente en forma de lluvia de fuego provocando grandes incendios generalizados de ciudades, bosques y campos con alcance a cualquier lugar del planeta.

Las consecuencias nefastas de un tal acontecimiento serán tanto mayores mientras más cerca se esté del lugar de impacto. Hay que tener en cuenta que, para este caso, la protección que puede darnos la capa de aire atmosférico es en la práctica totalmente despreciable ya que su velocidad, y en consecuencia su energía cinética, solo disminuiría en una cantidad menor al 4 ‰, dependiendo del ángulo de la trayectoria (*si fuese vertical menor al 1 ‰*).

Ahora bien, a todo esto hay que sumarle las consecuencias no inmediatas. Debido a las características de este asteroide hipotético, que estamos poniendo como ejemplo, la energía puesta en juego al tomar contacto con la superficie es más que suficiente para hacer que importante cantidad de materia salga eyectada superando la velocidad de

escape gravitacional que es de 11,2 km/s y en consecuencia parte de ella entre en órbita terrestre y parte continúa escapando de la Tierra y llegue a orbitar alrededor del Sol transformándose en futuros meteoritos que podrán volver a chocar con nuestro planeta, luna u otros cuerpos celestes del Sistema Solar. El resto, que no supera la velocidad de escape, irá cayendo por distintas regiones de todo el planeta (*como si fueran meteoritos, con su consecuente peligro, aunque en escala de velocidad mucho menor*) en cuestión de minutos, horas y días, en tanto que la materia transformada en polvo se mantendrá por un gran tiempo suspendida en la atmósfera que sumada a la que está en órbita causarán un apantallamiento de la luz solar reduciéndola significativamente (*prácticamente se hace de noche*) y que puede durar muchos años y también varias décadas. Esto provocaría, después del calentamiento inicial, un significativo descenso de la temperatura que podría llevar a una nueva era de glaciación. Es sabido que privadas de luz la mayoría de las plantas que hayan sobrevivido a la calamidad inicial perecerán por interrupción de la fotosíntesis. Por otra parte, la atmósfera recalentada por todos estos acontecimientos produce enormes cantidades de óxido de nitrógeno (*recordar que el nitrógeno y el oxígeno son los elementos más abundantes del aire*) que tiene un importante efecto letal sobre la vida pero como si eso fuera poco el óxido de nitrógeno se combina con el agua (*que también se encontraría en grandes cantidades y muchísimo más si el impacto fue sobre un océano*) formando ácido nítrico lo que da lugar a la famosa lluvia ácida pero en este caso en cantidades extraordinarias lo que provocaría un fuerte descenso del pH de las capas superficiales de agua de océanos, mares y ríos y también de los campos con la consiguiente mortandad, principalmente

de vegetales, insectos y microorganismos, terrestres y marinos.

La conclusión es que estos cambios atmosféricos son ecológicamente nefastos. Es decir, después de la catástrofe inicial viene el golpe de gracia para los que lograron sobrevivir.

La otra peligrosa consecuencia es la convulsión social que tendría lugar al darse a conocer de antemano la noticia de que un acontecimiento así va a suceder, el caos que se generaría sería incontrolable.

Es evidente que aquellos que logran sobrevivir a los efectos iniciales del impacto, de allí en adelante lo deberán hacer a costa de un sufrimiento infernal ya que carecerán de todo a lo que estaban acostumbrados, es decir, lo que para ellos era común y normal, como la forma de conseguir alimentos y agua (*ahora escasa y muy contaminada*), medicamentos, atención hospitalaria, informarse (*comunicaciones*), transporte, combustible, energía, educación, informática, etc. y a lo que se agrega haber quedado sin vivienda y sin trabajo. Literalmente volverán a la edad de piedra, nada será como antes, también el clima por mucho tiempo será atípico y sumamente inestable. Dicho en otras palabras el mundo industrializado y tecnificado deja de existir. Se puede decir que a los seres humanos, animales y plantas la vida les cambia drásticamente en solo un instante.

Otra posibilidad es que el asteroide o cometa no impacte de lleno pero sí que pase muy cerca afectando significativamente nuestra atmósfera, lo que provocaría en ella fuertes perturbaciones que darían lugar a huracanes y cambios de temperatura nunca vistos con devastación y aniquilaciones de zonas que podrían llegar a tener hasta un tamaño

como el de China o Brasil y, para el resto del planeta, consecuencias sociales, ecológicas y económicas sumamente serias. Pero en este caso la civilización actual lograría sobrevivir.

En cuanto a las consecuencias, no es mucha la diferencia si un tal asteroide cayera sobre alguno de los océanos donde, además de los efectos mencionados antes, se ha calculado que los tsunamis provocados llegarían a las costas próximas con olas cuya altura serían del orden de un 40 a 60 % de la profundidad que tiene el océano en el lugar de impacto, es decir, si tenemos en cuenta la profundidad media de los océanos, que es de unos 4.000 m, podrían ser de unos 2.000 m de altura, pero si lo hiciera sobre alguna de las grandes fosas marinas podrían ser mucho mayor (*la fosa más profunda es la de Las Marianas, entre Japón y Nueva Guinea, con algo más de 11.000 m*).

Es evidente, por lo descripto, que una vez que se produce un tal impacto todo intento de mitigación se lo puede considerar inútil, en consecuencia el esfuerzo hay que dedicarlo totalmente a saber predecirlo con suficiente tiempo y a contar con el conocimiento y la tecnología para evitarlo, como se expone a continuación.

### ■ ¿QUÉ POSIBILIDADES TENEMOS DE DEFENDERNOS DE UN TAL ACONTECIMIENTO?

En hipótesis las dos únicas posibilidades serían intentar desviar al intruso de su trayectoria o bien destruirlo antes de que se acerque demasiado ya que de suceder otro caso como el de Yucatán ¿qué oportunidad tendríamos luego de poder hacer algo útil? Tecnológicamente en lo que más avanzado se está es en detectarlo con suficiente tiempo (*a los cuerpos mayores de 100 m*),

pero en cuanto a lograr alguno de esos dos objetivos, al menos hoy no podríamos hacerlo. Hace poco el administrador de la NASA (*Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los EEUU*), Charles Bolden, con motivo del meteorito recientemente caído en Rusia (*15 de febrero de 2013*), dijo tener una sola recomendación "*Si hoy un asteroide se dirige hacia New York lo único que podemos hacer es rezar*".

En el año 2012 se inició el proyecto internacional "NEOShield" que evaluará la amenaza de NEOs (*NEO, siglas inglesas de Objeto Próximo a la Tierra*) y las mejores soluciones para hacer frente al que tenga una trayectoria de colisión con nuestro planeta. El proyecto es liderado por el Instituto de Investigación Planetaria (DLR) de la Agencia Espacial Alemana y participan expertos españoles, franceses, británicos, rusos y estadounidenses. Se tiene proyectado que después de unos tres años y medio de estudio se pueda poner a prueba, experimentalmente en laboratorio, para demostrar y probar su tecnología. El programa no construirá ningún dispositivo de defensa aún, esto dependerá de los resultados de laboratorio y de nuevas inversiones. Por el momento no se lo construye pero al menos se lo planea y estudia.

Si se plantea su destrucción con una bomba nuclear se lo debe hacer cuando el visitante se encuentra a una distancia lo suficientemente lejos como para que sus fracciones no sigan dentro del cono de trayectoria hacia la Tierra y terminen cayendo fracciones por todos lados lo que también sería de serias consecuencias, pero además para tal magnitud de asteroide o cometa (*para el cometa sería algo más fácil por su baja densidad y materiales ligeros que lo componen*) el poder de la bomba debería ser verdadera-

mente grande (*pero hoy se dispone de ello*). Lo mejor y menos riesgoso es desviarlo de su trayectoria, lo cual puede hacerse con sucesivas explosiones muy bien calculadas y controladas que actuaran a cierta distancia del asteroide de manera tal que cada energía liberada lo vaya empujando y así cambiando su trayectoria, o también aterrizar sobre el asteroide y ubicar en él un sistema de propulsión (*tipo cohete y que podría ser con los de la propia nave*) que le haga cambiar el rumbo. En cuanto a esto último es importante dar a conocer que la NASA ya hace un tiempo que está trabajando y las fechas que maneja para aterrizar un mecanismo robótico sobre un asteroide es en 2016, y para que lo hagan astronautas 4 años después (*en 2012 se comenzó con su entrenamiento*).

Hay que tener en cuenta que el reducido tamaño y la tremenda velocidad del visitante hacen bastante complicada estas operaciones pero no imposibles, por otra parte es necesario tener una correcta información previa sobre la composición del asteroide ya que no es lo mismo si es de alta o baja densidad y si es pétreo o metálico. Además de la tecnología necesaria, todo depende del tamaño del asteroide y del tiempo que se disponga para poner en práctica estas medidas de defensa.

### ■ PROBABILIDAD ACTUAL DE SUFRIR UN IMPACTO IMPORTANTE

Según lo que sabemos hasta ahora, la probabilidad de impacto de un asteroide o cometa con tamaño mayor a 500 m es para los próximos 100 años prácticamente nula, pero aumenta para asteroides menores que serían capaces de destruir gran parte de la población de una ciudad importante si se diera el caso de caer sobre ella. Aunque esto es muy im-

probable ya que la mayor parte del planeta está muy escasamente habitado, el 70 % es océanos y mares, a lo que hay que sumarle desiertos, selvas, montañas y campos con muy poca población. Justamente los dos últimos casos de meteoritos caídos, con relativa importancia, resultan un buen ejemplos de lugares impactados con escasa población, uno el suceso de Tunguska en la Siberia Rusa el 30 de junio de 1908 (*explotó en el aire antes de tocar tierra, que si bien hubo muchas hipótesis la más posible es la atribuida a un cometa formado por hielo ya que no se ha recuperado ningún fragmento y tampoco produjo un cráter. Se desconoce su tamaño aunque se estimó entre 50 y 80 m. Los daños llegaron a cubrir un área de 2.000 km<sup>2</sup>, prácticamente deshabitada*) y el otro, el más reciente, el meteorito del 15 de febrero de 2013 en la zona de Cheliábinsk en la región de los Urales, también en Rusia (**Figura A2**), que según la NASA su tamaño habría sido de entre 18 y 20 metros de diámetro medio, la velocidad de 18 km/s y la masa de 10.000 toneladas, todo antes de ingresar en la atmósfera y, según la Universidad Federal de los Urales, los fragmentos recolectados resultaron de carácter rocoso (*condrita ordinaria*). Su detonación en el aire se produjo a una

altitud de alrededor de 20 km. y a pesar de ser una zona poco poblada, su onda expansiva dañó, en aldeas cercanas, más de 3.000 construcciones y alrededor de 1.200 habitantes fueron atendidos en centros médicos por lesiones y estados de shock afortunadamente leves.

La NASA estima que asteroides y cometas de tamaños mayores de 100 m hay aproximadamente unos 20.000 que pueden representar una amenaza potencial para la Tierra (*no se tienen en cuenta aquellos que se encuentran en órbita en el "Cinturón Principal" entre Marte y Júpiter, ni los troyanos en la órbita de Júpiter, y evidentemente mucho menos los del cinturón de Kuiper y la nube de Oort, ya que mientras se mantengan en esas órbitas no representan peligro*). Hasta ahora se sabe dónde se encuentran y sus posibles trayectorias de unos 6.000 de estos objetos. Es muy importante seguir con los trabajos de detectar los restantes para lo que es necesario contar con la financiación correspondiente, lo cual no debería ser tarea de un o unos pocos países, como sucede hasta ahora, sino de todos.

El trabajo actual de vigilancia sólo se realiza sobre asteroides que tienen posibilidad de chocar con la

Tierra. Siempre se trabaja en términos de probabilidad ya que las órbitas determinadas tienen un margen de error en el cálculo y, además, también se tiene en cuenta la posibilidad de que su órbita pueda cambiar por la colisión con algún otro cuerpo en el espacio o por la atracción gravitatoria de un planeta o luna al pasar muy cerca de ellos.

Una lista detallada de NEOs conocidos, con sus características y probabilidad de riesgo de impacto con nuestro planeta, en los próximos 100 años, se puede ver en la página de la NASA (System Sentry - Risk Table) <http://neo.jpl.nasa.gov/risk/>

Es importante subrayar que Júpiter actúa como una verdadera aspiradora cósmica de asteroides y cometas. Con su enorme campo gravitatorio nos protege atrayéndolos hacia sí o desviándolos lejos de las órbitas de los planetas interiores (*Mercurio, Venus, Tierra y Marte*). A los astrofísicos les gusta destacar de Júpiter su papel protector de escudo reductor de objetos peligrosos para el Sistema Solar Interior. Desde que poseemos la suficiente resolución óptica en nuestras observaciones del cosmos, que sepamos, han sido tres los eventos importantes (*gran tamaño*) de colisión sobre su super-



**Figura A2:** Meteorito del 15 de febrero de 2013 en Cheliábinsk, región de los Urales (Rusia), en el momento de su detonación. (Imagen de Internet)

ficie. En primer lugar, la colisión del “Shoemaker-Levy 9” en 1994, posteriormente el “Evento Wesley” en 2009, otro ocurrió el día 3 de Junio de 2010 y por último uno todavía más gigantesco el 10 de septiembre de 2012. Nótese la frecuencia seguida de impactos. También Saturno tiene un papel similar de escudo.

### ■ SÍFIDO Y OTROS ASTEROIDES IMPORTANTES CERCANOS A LA TIERRA

De los asteroides conocidos, que interfieren con la órbita de la Tierra, el más grande es Sísifo con un diámetro de alrededor de 10 km, aproximadamente el mismo tamaño que tenía el que impactó en Yucatán y produjo el cráter de Chicxulub. Al menos por este siglo no hay indicios que Sísifo pudiera impactarnos, pero de ocurrir su consecuencia sería la del asteroide hipotético descrito en este artículo. Otro importante pero de menor tamaño es Geographos que posee una extensión de 5,1 km de largo por 1,8 de ancho. Uno más famoso es Apofis (*su trayectoria le lleva a atravesar la órbita de la Tierra dos veces en cada vuelta al Sol que es de 323 días*) cuyo tamaño medio, que hace poco fue vuelto a medir con mucha mayor precisión, es de 300 m. En diciembre de 2004 algunas observaciones indicaban una probabilidad relativamente alta de que Apofis colisionara con la Tierra (*del 2,7%*) para el año 2029. Sin embargo, observaciones posteriores mejoraron el cálculo de la órbita demostrando remota la posibilidad de un impacto con la Tierra o la Luna para ese año. Aun así, persistía la posibilidad de que durante el encuentro cercano de 2029 con la Tierra, Apofis pasase por una “cerradura gravitacional” (*una región muy precisa del espacio de no más de 400 a 600 metros de diámetro*) que lo situaría en trayectoria de colisión para un futuro impacto el día 13 de

abril de 2036, pero nuevas observaciones revelaron que es muy poco probable que pase por la tal “cerradura” por lo que la probabilidad de impacto estimada para esa fecha bajó a 1 en un millón, lo que nos tranquiliza significativamente.

### ■ CONCLUSIÓN

Los expertos están de acuerdo en que no existe ninguna otra catástrofe natural conocida que produzca un efecto tan devastador en la Tierra como el choque de un asteroide trascendente.

El hecho que (*por lo que se conoce hasta hoy*) no se espere en este siglo un acontecimiento de gran magnitud no quiere decir que no pueda aparecer algún asteroide (o cometa) que aun no hemos detectado o bien que uno nuevo aparezca de sorpresa ya que debido a interacciones gravitacionales con Júpiter u otro cuerpo del Sistema Solar o por colisiones entre ellos mismos, uno pueda desprenderse de su cinturón y dirigirse hacia nuestro lado. También los que ya conocemos y se desplazan interfiriendo con la órbita de la Tierra podrían, en algún momento, modificar su trayectoria por las mismas causas antes nombradas. Un caso así podría ser el del reciente asteroide 2012 AD14 (*45 m*) que pasó el 15 de febrero de 2013 a sólo 27.000 km de nosotros y del cual se piensa que la gravitación de la Tierra pudiera haber modificado su trayectoria futura, en consecuencia se lo está vigilando para hacer las correcciones y así saber a qué distancia va a pasar en su próximo acercamiento.

Como reflexión final destacamos que bajo ningún concepto se debe dejar de tener en cuenta la posibilidad de un impacto importante, en consecuencia es primordial enfatizar que tanto la ciencia y la tecnología, como los gobernantes, deben

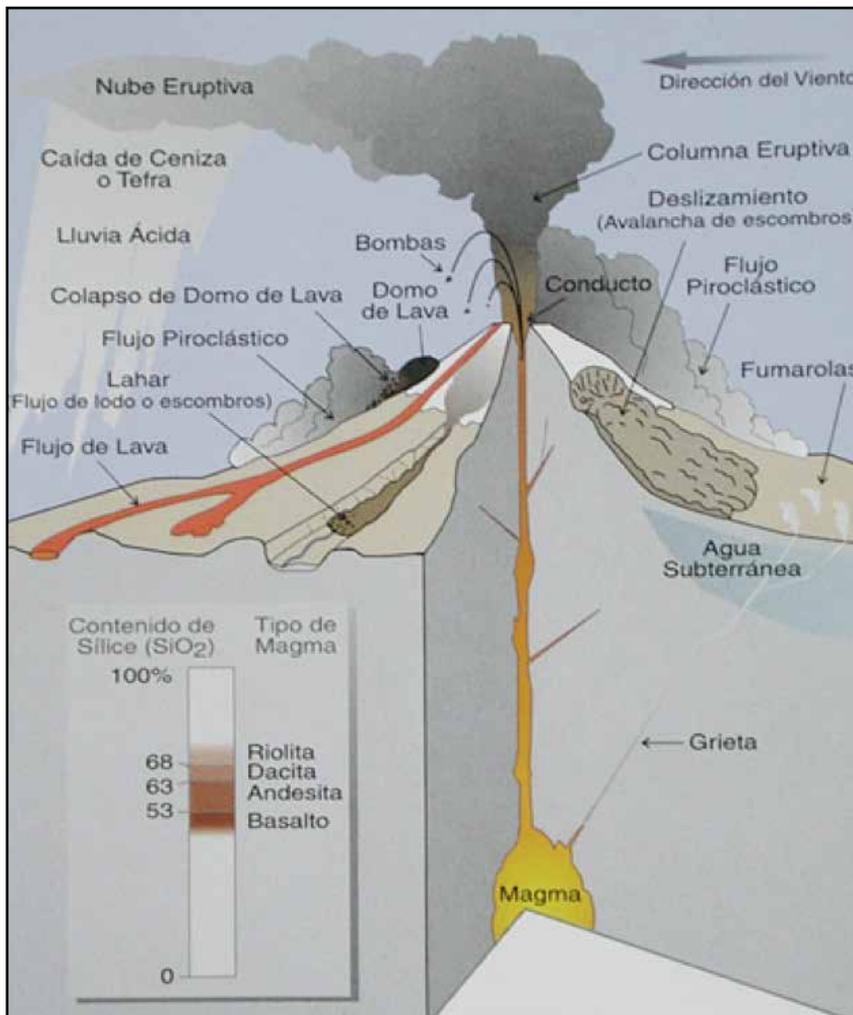
ocuparse y trabajar fuertemente en un proyecto internacional y hacerlo factible para que en un futuro, lo más cercano posible, estemos capacitados para defendernos, que aunque se lo tenga como improbable durante los próximos años sí es posible a mediano y largo plazo. Los expertos no se preguntan si va a suceder sino cuándo.

### ● B - GRANDES VOLCANES Y SUPERVOLCANES

Los volcanes son conductos que establecen una comunicación directa entre la superficie y los niveles profundos de la corteza terrestre donde hay importantes masas de magma (*mezcla de roca fundida, gases y otros componentes*). El magma expulsado, que recibe el nombre de lava, se distribuye por los costados del conducto que al enfriarse se endurece por capas formando las típicas montañas cónicas que estamos acostumbrados a observar. En la **Figura B1** se sintetiza todas las características de un volcán clásico.

Se dice que un volcán entra en erupción cuando por su conducto expulsa componentes como lava, piroclastos, gases, cenizas y humo, puede hacerlo en forma pasiva (*actividad efusiva*) o enérgica (*actividad explosiva*), en este último caso la gran presión acumulada (*generalmente por estar fuertemente taponada la boca del conducto*) hace estallar la montaña como, por ejemplo, lo hizo el Vesubio en Italia en el año 79 y cuyo material despedido por la explosión (*ceniza y piedras*) tapó bajo 6 metros a Pompeya, en tanto que lo que sepultó a Herculano, en 15 metros, fue el flujo de piroclastos y la corriente de lava.

Un volcán cuando entra en actividad puede emitir materia en cualquiera de los tres estados: a) Sólidos:



**Figura B1:** Esquema de un volcán clásico (obtenida de Internet)

piroclastos (**Figura B2**) y cenizas (*polvo volcánico*); b) **Líquidos**: lava, que como ya dijimos no es otra cosa que magma que aflora a través del cráter y se desliza por la superficie; c) **Gaseosos**: dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno, hidrógeno, metano, vapor de agua, cloruros volátiles, ácidos sulfhídrico y clorhídrico, otros tipos de gases sulfurosos y en menor escala algún otro tipo de gas.

La denominación de Supervolcán (**SV**) no es un término técnico que usaran los especialistas pero se lo empezó a acuñar en un programa de divulgación científica de la BBC y en consecuencia, en los últimos años, comenzó a aparecer en publicaciones científicas importantes.

Pero si bien un SV se refiere a un tipo de volcán que produce las mayores y más voluminosas erupciones de la Tierra no se trata de un volcán grande, la principal diferencia con éstos es que no se ven con la clásica montaña de forma de cono, al contrario, generalmente están disimulados en zonas planas o semiplanas donde hoy se sabe que allí existen lo que se dio en llamar Puntos Calientes (*que no necesariamente están sobre las fallas tectónicas clásicas que dan lugar a terremotos y volcanes comunes*) a donde llega magma directamente desde el manto (*a través de un conducto que se conoce con el nombre de **Pluma del Manto***) acumulándose subterráneamente como un gran lago a pocos kilómetros de la superficie como se observa en la **Figura B3**. Cuando erupciona siempre lo hace en forma sumamente explosiva. Lo que sucede es que al no poder liberar presión por medio de un conducto chimenea, típico de los volcanes comunes, el magma se sigue acumulando como un gran lago subterráneo lo que va “infiltrando” el terreno en toda una zona



**Figura B2:** Flujo de piroclastos. Volcán Pinatubo 1991 (Filipinas). (Imagen de Internet)

muy amplia aumentando la presión espectacularmente durante miles de años hasta que llega a un punto crítico en que estalla y lo hace en toda esa región completa. Las calderas conocidas son de unos 50 a 100 km de diámetro. La explosividad real de estas erupciones varía, pero el volumen de material erupcionado es suficiente en cada caso para alterar radicalmente el paisaje circundante en una zona muy amplia, e incluso para alterar el clima global durante años, con un efecto adverso para la vida.

Ahora bien, inversamente a su extraordinaria intensidad, los SV erupcionan en períodos que van desde miles hasta cientos de miles de años e incluso millones. Al día de hoy los conocidos se los puede considerar prácticamente dormidos y aquellos que tienen el potencial para despertar podrían hacerlo dentro de cientos o miles de años, aunque nunca se descarta la posibilidad de que esto pudiera suceder en cualquier momento.

La magnitud de una erupción volcánica se mide por el IEV (*Índice de Explosividad Volcánica*) que va de 0 a 8 grados. **Los de grado 7 y 8 se**

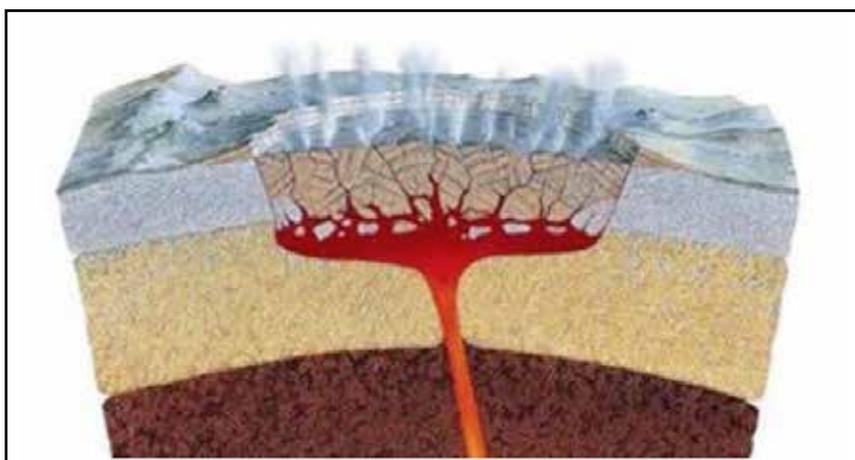


**Figura B4:** Representación del estallido de un Supervolcán (Imagen de Internet)

**los considera catastróficos, en mayor o menor grado, para todas las regiones del planeta, y son los que reciben el nombre de Supervolcán (Figura B4).** El IEV es el producto de la combinación de varios factores mensurables de la erupción, como el volumen total de los materiales expulsados, altura alcanzada por la nube eruptiva, duración de la actividad, inyección troposférica (*capa que va desde el suelo hasta una altura media de 15 km*) y estratosférica (*capa desde 15 a 50 km*) de los productos expulsados y algunos otros factores sintomáticos del nivel de explosividad, como ejemplos tenemos: el Etna (*Sicilia - Italia*) en la actualidad es IEV-0 (*se encuentra*

*activo pero sólo emite muy poco humo y mínima luminosidad que se puede observar bien desde la cercana y pintoresca ciudad de Taormina, sobre todo en las noches sin luna, incluso se puede visitar llegando hasta su boca*) pero tiene períodos seguidos que incrementa su actividad con emisión de lava llegando a grados IEV-1 y 2; similarmente se comporta el Strómboli en la isla del mismo nombre en el mar Tirreno (*Italia*); el Nevado del Ruiz (*Colombia*) en 1985 fue un IEV-3; el Santa Helena (*EEUU*) en 1980 fue un IEV-5; el Krakatoa (*entre Java y Sumatra - Indonesia*) en 1883 fue un IEV-6 como también lo fue el Pinatubo (*Filipinas*) en 1991; Tambora (*Indonesia*) en 1815 erupcionó como IEV-7 y fue la segunda erupción de un SV en nuestra era (dC); en tanto que la primera, también IEV-7, fue la de Lago Taupo en North Island (*Nueva Zelanda*) en el año 181. Con el Tambora hubo más de 90.000 muertos y lanzó a la atmósfera una columna de ceniza de alrededor de 70 kilómetros de altura, el impacto en el clima global fue tan notable que a 1816 se le llamó el “año sin verano”, la temperatura media del planeta bajó en casi 3 °C.

En cuanto a erupciones supervolcánicas más antiguas o muy antiguas sólo tenemos cálculos aproxi-



**Figura B3:** Punto Caliente y Pluma del Magma. Representación esquemática de cómo puede ser actualmente la caldera del Supervolcán Yellowstone en EEUU. (Imagen de Internet).

mados de su magnitud, ejemplos de estos son: el Lago Toba en Sumatra (*Indonesia*) hace 75.000 años que habría sido un IEV-8, la Caldera de Yellowstone (*Wyoming EEUU*) hace 1,3 millones de años se calcula como un IEV-7 y el mismo fue IEV-8 hace 640.000 años. Se estima que la energía liberada por un SV es del orden de 1.000 bombas como la de Hiroshima por segundo durante el tiempo que dura la erupción.

Por el tiempo transcurrido desde las últimas erupciones de supervolcanes IEV-8, si alguno de ellos (*identificados o no*) estallara en la actualidad y nuevamente lo hiciera como IEV-8, las consecuencias alcanzarían una magnitud hasta ahora no experimentada por el hombre.

#### ■ CONSECUENCIAS DE ERUPCIONES DE GRANDES VOLCANES Y SUPERVOLCANES

La región hasta unos 150 o 250 kilómetros a la redonda, desde donde está ubicado el SV, experimentaría una destrucción absolutamente total, ya que la enorme fuerza de la explosión arrastra materia (*principalmente flujos piroclásticos y cenizas*) a muy alta temperatura eliminando a todo ser vivo que se encuentre en su camino, también contribuye la propia fuerza de choque del desplazamiento de aire frontal el que, en energía, puede ser varias veces superior a los más intensos huracanes, es decir a los de categoría 5 en la escala Saffir-Simpson. De 250 a 500 o 700 km se la considera zona seriamente afectada aunque no necesariamente de destrucción total y luego a mayor distancia, debido a las cenizas volcánicas más finas, los cultivos son cubiertos y además con consecuencias a largo plazo para la composición de la tierra, en tanto que las ciudades son afectadas en toda su infraestructura eléctrica y de otros servicios. El sistema de pro-

visión de agua se contamina, fallan los equipamientos electrónicos, se dificultan todos los medios de transporte y especialmente el aéreo se ve obligado a quedar totalmente interrumpido.

Por otra parte, tanto si un SV o volcán importante se encuentra en el mar o cerca de la costa, se pueden producir tsunamis, tal como ocurrió luego de la erupción del Krakatoa en 1883, el cual se cobró muchas vidas. Tierra adentro, los ríos se pueden anegar y se pueden producir inundaciones y fuertes corrientes de lodo. Además si el volcán contiene glaciares (*hielo*) y/o gran cantidad de nieve se agrega el peligro de los lahares, como ocurrió con el Nevado del Ruiz (*Colombia, 1985*) que si bien no fue una erupción muy grande (*IEV-3*) produjo un Lahar (*ver Glosario*) que en minutos tapó la población de Armero matando a 25.000 habitantes, se conoce el hecho como la "Tragedia de Armero".

Sin embargo, aparte del área afectada directamente, la consecuencia más temible de una supererupción la experimenta el clima y con alcance a todo el planeta ya que estos tipos de erupciones emiten a la atmósfera grandes cantidades de gas y polvo volcánico. Estos gases, que contienen dióxido sulfúrico, dióxido de carbono, metano y cloro, más el polvo y vapor de agua, reflejan la radiación solar hacia el espacio o ellos mismos absorben el calor, y enfrían así la capa baja de la atmósfera (*troposfera*) causando el llamado "invierno volcánico". Por otra parte el dióxido sulfúrico reacciona con el agua atmosférica formando pequeñas gotas de ácido sulfúrico dando lugar a la lluvia ácida sumamente dañina para plantas y animales.

A continuación se da una lista de supervolcanes (*IEV 7 u 8*) que se conocen y que podrían en algún tiem-

po volver a despertar y cambiar trágicamente las condiciones de vida en su región y significativamente la del resto del planeta, como ya lo han hecho anteriormente. Entre paréntesis sólo se indica cuántos años hace aproximadamente que supererupción:

-**Aso**, Kyushu, Japón (hace 300.000 y 80.000 años)

-**Aira**, Kyushu, Japón (hace 22.000 años)

-**Campi Flegrei**, Campania, Italia (hace 40.000 años) (**Figura B5 y B6**)

-**Caldera Kikai**, Islas Ryukyu, Japón (hace 3.600 años)

-**Caldera de Long Valley**, California, Estados Unidos (hace 760.000 años)

-**Lago Taupo**, North Island, Nueva Zelanda (hace 26.500 años y luego en el año 181 de nuestra era)

-**Tambora** en Indonesia (en el año 1815 de nuestra era).

-**Lago Toba**, Sumatra, Indonesia (hace 73.000 años)

-**Caldera Valle Grande**, Nuevo México, Estados Unidos (hace 1,12 millones de años)

-**Caldera de Yellowstone**, Wyoming, Estados Unidos (hace 2,1 y 1,3 millones de años y la última hace 640.000 años)

-**Caldera La Garita**, Colorado, Estados Unidos (hace 27 millones de años)

-**Siberian Trapps** (Trampas Siberianas) donde se encuentran las ciudades de Tura, Yakutsk, Norilsk e Irkutsk de Rusia. Tuvieron lugar

justo en la transición Pérmico-Triásico (hace 250 millones de años)

-**Caldera Vilama** (o Caldera Eduardo Avaroa), Jujuy, Argentina, en el límite con Chile y Bolivia (hace 8,4 millones de años)

-**Caldera Thira** (hoy Santorini), Mar Egeo, Grecia (hace 3.600 años). En este caso hay dudas si fue grado 6 ó 7.

Si bien hemos hablado de supervolcanes también son importantes los volcanes de IEV 5 y 6 (*Grandes Volcanes*) que pueden resultar catastróficos para la región donde se encuentran y a diferencia de los otros éstos sí se producen seguido. Por ejemplo de grado IEV-6 fueron el Vesubio (1660 aC), Krakatoa (1883), Santa María (1902), Pinatubo (1991) y de grado IEV-5 el Vesubio (79) y el Santa Helena (1980).

Si dos o tres volcanes importantes, grado IEV-5 y 6, entraran en erupción simultáneamente y la actividad durara un tiempo apreciable (*del orden de un mes*), gran parte del tráfico aéreo mundial se vería obligado a cesar de inmediato para evitar que el polvo volcánico dañe las turbinas y otros mecanismos de las aeronaves con el consecuente peligro que esto significa y, la disminución de la luz solar daría lugar a un enfriamiento temporal del clima global.

Por su trascendencia histórica es interesante recordar el conocido Volcán Santorini (*antiguamente llamado Thera o Thira*) en la isla del mismo nombre en el Mar Egeo, hoy perteneciente a Grecia y muy visitada por el turismo. Se tiene registro de sus erupciones en 197 aC y luego dC en: 726, 1650, 1707, 1866, 1870, 1926, 1928, 1939, 1941 y la última en 1950. Pero mucho antes,



**Figura B5:** Imagen satelital donde se puede ver la región que abarca el SV Campi Flegrei y la ubicación del volcán Vesubio.



**Figura B6:** Imagen Google Earth donde se puede observar con detalle la topología dada por la caldera del SV Campi Flegrei.

en aproximadamente el año 1600 aC, sufrió una erupción sumamente explosiva (*calculada en IEV-6 ó 7*) que reventó el corazón del volcán y su cima se hundió de tal manera que el centro de la isla desapareció tras cavar una gran fosa en las profundidades del mar Egeo (**Figura B7**). Como varios días antes la tierra

comenzó a temblar preanunciando el desastre, para salvar sus vidas los habitantes de Thera subieron a barcos y se alejaron a la isla de Creta y también al continente. La isla fue totalmente destruida y puso en decadencia la civilización minoica ya que las consecuencias también llegaron a la isla de Creta y sus alrede-



**Figura B7:** Volcán Santorini (Thera o Thira) – Grecia (Mar Egeo). En esta foto satelital de la NASA se puede apreciar cómo, después de la gran erupción explosiva de 1600 aC, la caldera fue cubierta por agua luego que el volcán con el centro de la isla se desplomara sobre una enorme fosa en las profundidades del mar. Antes de la erupción se la conocía como la isla redonda.

dores. Esta erupción fue una de las mayores de la era histórica, cubrió varias islas y parte del continente con una importante capa de ceniza. Excavando en la parte de la isla Santorini que no desapareció bajo el mar los arqueólogos han descubierto las calles y otros restos de una ciudad. Hallaron casas con paredes que tenían bellísimas pinturas, pero no encontraron esqueletos u objetos de valor. Creen que los pobladores tuvieron tiempo suficiente para escapar. Algunos expertos piensan que el desastre podría haber sido la base para los escritos de Platón sobre la desaparición del continente de Atlántida. También hay historiadores que piensan que los Filisteos (*nombrados por la Biblia e historiadores*

*antiguos*), conocidos como “hombres venidos del mar”, no fueron más que aquellos habitantes que escaparon de las islas afectadas y pertenecientes a la civilización minoica buscando en el continente lugares seguros donde vivir.

En la actualidad un estudio de investigadores de la Universidad de Oxford, publicado en “Nature Geoscience”, sugiere que la cámara de roca fundida bajo el volcán de Santorini se expandió entre 10 y 20 millones de metros cúbicos (*hasta 15 veces el tamaño del Estadio Olímpico de Londres*) entre enero de 2011 y abril de 2012. Este crecimiento del ‘globo’ de magma ha hecho elevar la superficie de la isla entre 8 y 14

centímetros durante ese tiempo. Los resultados provienen de un estudio que utilizó imágenes satelitales y receptores del Sistema Global de Posicionamiento (GPS) que pueden detectar movimientos de la superficie terrestre con alta precisión.

Sin embargo, todavía no se conoce la respuesta a la pregunta más importante de todas: ¿cuándo volverá a entrar en erupción? En enero de 2011 se produjeron una serie de pequeños temblores debajo de la isla, la mayoría sólo pudieron ser detectados con sismógrafos, pero fue la primera señal de actividad bajo el volcán en 25 años.

Para los propios habitantes se hizo evidente que había un cambio en el comportamiento del volcán. Los guías turísticos acostumbrados a visitar la isla semanalmente informaron de cambios en la cantidad de gas de fuerte olor y los cambios en el color del agua en algunas de las bahías alrededor de las islas. La doctora Juliet Biggs de la Universidad de Bristol, una de los autores del estudio, señala que la gente era consciente de que algo estaba pasando con el volcán, pero no fue hasta que vieron los cambios en el GPS y en las imágenes térmicas satelitales que descubrieron roca fundida siendo inyectada debajo del volcán. Según los expertos esto no significa que el volcán esté a punto de entrar en erupción, de hecho, la tasa de actividad sísmica ha vuelto a disminuir en los últimos meses y no sería raro que se registre un retroceso en su hinchamiento ya que las subidas y bajadas (*como también sucede en Yellowstone*) se deben a la recarga y descarga cíclica que suelen tener las calderas volcánicas de la habitación magmática. Justamente es por este motivo que resulta muy difícil predecir con seguridad una erupción.

## ■ PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Tanto la prevención como la mitigación ante una erupción volcánica clásica involucra varios organismos y a los propios habitantes que de antemano deben tener determinados la logística y los procedimientos a seguir. Son las autoridades las que deben definir responsabilidades y funciones de todos los organismos y entidades públicas, privadas y comunitarias, garantizando un manejo oportuno y eficiente de todos los recursos humanos, técnicos, administrativos y económicos que sean indispensables para una tal situación. En estos procesos el apoyo individual, familiar y comunitario es vital.

Lo más primordial es que la población que habita en la zona del volcán esté perfectamente concientizada de lo que significa una erupción (*tanto efusiva como explosiva*) y de sus consecuencias, debe conocer de antemano como actuar y donde dirigirse en caso de ser necesaria una evacuación, esto mitiga significativamente tanto entrar en pánico como actuar caóticamente.

Le sigue en importancia que los especialistas hagan un continuo monitoreo del grado de actividad que muestra el volcán y junto con las autoridades dispongan de un sistema de alerta y señalización de áreas y vías de evacuación.

Los establecimientos de salud que se encuentren en las cercanías pero fuera del área a ser afectada deben estar entrenados y preparados para lo que se suele llamar "Plan Hospitalario para Desastres" (PHD), el cual tiene por objetivo garantizar la prestación inmediata de los servicios de salud, con estándares de seguridad y criterios de eficacia en situaciones de catástrofes. El PHD debe además contar de antemano con un esquema y estrategia para

el traslado de pacientes (*si su condición lo permite*) a hospitales más alejados una vez que hayan recibido la atención primaria de emergencia para de esta manera poder seguir dando capacidad de atención a los afectados que sigan llegando, puesto que siempre debe pensarse en una atención masiva de víctimas.

Normalmente son el personal de defensa civil, cruz roja y del ejército los que deben estar entrenados para entrar en la zona de desastre a realizar la búsqueda, salvamento y primeros auxilios de las víctimas que quedaron atrapadas.

Esto debe estar relacionado con el resto de los planes regionales de emergencia, de tal manera que se tenga una visión y actuación integral sobre la contingencia.

En zonas de riesgo volcánico no deben construirse hospitales de importancia, como tampoco junto a ríos y hondonadas que puedan convertirse en el paso o el lecho de lava, lahares y aludes provocados por el proceso eruptivo, tampoco debería haber hoteles, escuelas, viviendas u otros establecimientos que alberguen gente.

Es evidente que no solamente debe hacerse prevención sobre la vida sino también sobre los servicios básicos tratando que no sean interrumpidos, a esto se lo llama "Plan de Contingencia para Desastres" (PCD), como: contar en todo momento con agua potable, que no se corten las comunicaciones y la energía eléctrica (*los hospitales contar con grupos electrógenos propios*), puntos estratégicos de provisión de necesidades, plan de movilización de recursos y de posibles albergues y nuevos asentamientos, alistamiento de voluntarios, distintas alternativas de caminos y rutas por si alguno resulta invadido por material eruptivo.

Debe preverse que en estos planes no es posible contar con asistencia aérea ya que la cantidad de polvo volcánico que suelen arrojar es altamente peligroso para sus motores, más aun, toda actividad aérea en la zona debe ser cancelada.

En caso que el desastre sea sorpresivamente mucho mayor que lo esperado y sobrepase todas las previsiones, es el Ejército (*Fuerzas Armadas en general*) quien debe estar siempre preparado para actuar con vehículos, tiendas, cocinas, generadores de electricidad y hospitales de campaña. También se hará necesaria la ayuda internacional.

Aquí cabe reflexionar que así como las Fuerzas Armadas, en caso de un conflicto armado, están entrenadas y prontas para entrar en combate las 24 horas del día, también deben estarlo para hacerlo en casos de catástrofes o cualquier contingencia que ponga en peligro la vida de un número importante de ciudadanos. En tiempos de paz es el organismo ideal para ser el primero en actuar, por su capacidad de rápido despliegue, su estructura, organización, logística y espíritu de lucha y, además, por contar con la infraestructura humana, material y técnica que se necesita para estos casos. Son las fuerzas armadas las que cuentan con vehículos especiales, hospitales de campaña y médicos entrenados, es la mejor organización para actuar inmediatamente en cualquier tiempo, lugar y condición.

A lo hasta ahora dicho debe agregarse las mismas medidas de prevención dadas en este artículo, para el caso de Tormentas Solares, en el ítem "*¿QUÉ DEBE HACER LA POBLACIÓN?*", con el agregado de disponer siempre de máscaras de filtro para proteger la nariz y la boca y de gafas para proteger los ojos. También se debe proceder al cierre de

todas las puertas, ventanas y rejillas de ventilación de cada vivienda, de esta manera se logra mitigar significativamente la acción de las cenizas volcánicas.

Para el caso particular de un SV, por lo que se infiere de los estudios sobre los ocurridos mucho tiempo atrás, la única prevención posible es la de saberlo con tiempo suficiente para poder lograr **evacuar totalmente** toda un área de al menos hasta unos 700 km desde la caldera.

Por último aclaremos que los que conocemos como supervolcanes, tomemos por ejemplo Yellowstone, en caso de una nueva erupción, no necesariamente tiene que hacerla otra vez como SV (*IEV 7 u 8*), podría manifestarse con un índice menor, que si bien sería un problema tendría la ventaja de reducir significativamente su energía haciendo desaparecer por mucho tiempo esa posibilidad tan temida.

### ■ OBSERVATORIOS VULCANOLÓGICOS

Cada volcán tiene su propio carácter, los hay bastantes previsible y otros nada como el Etna que nunca reacciona como los investigadores esperan, por el contrario el Vesubio que es uno de los más documentados y vigilados resulta relativamente fiable, aún así los científicos discuten permanentemente sobre el momento en el que podría volver a entrar en actividad y con qué intensidad.

La función principal de los vulcanólogos es vigilar los volcanes, para lo cual en cada uno se crea un Observatorio Vulcanológico, donde diariamente se recogen todos los datos tomados por los instrumentos de medición repartidos alrededor del volcán. Primero se estudia su historia, todas las erupciones que se co-

nocen y cuándo fue la última vez, se analiza si las erupciones se producen en series de tiempo regulares o no y qué intensidad tuvieron. Para poder evaluar la probabilidad de futuras erupciones es imprescindible hacer un detallado inventario y con toda esta información más los registros de los instrumentos instalados (*particularmente de sismógrafos, detectores de variación de temperatura y de cambios geofísicos y geoquímicos*) se trata de elaborar modelos y simulaciones que nos puedan dar información de cuándo y cómo podría darse una futura erupción.

Lamentablemente hoy es imposible saber con seguridad cuándo y con qué intensidad un volcán entrará en erupción. Sí algún día se logra debe ser con alta confiabilidad ya que imaginemos lo que significaría dar la orden de evacuar una ciudad como Nápoles con sus alrededores y que finalmente resulte falsa alarma, pero también imaginemos la catástrofe de no hacerlo si tiene lugar.

Pero respecto a esto hoy tenemos dos buenas noticias, una es que recientemente la NASA (*Department Earth*) ha iniciado, por primera vez, estudios sobre la propia boca de volcanes utilizando drones (*pequeños aviones-helicópteros de un metro de envergadura no tripulados, RQ-14 'Dragon Eye', que fueron adquiridos a la U.S. Navy*) especialmente adaptados para volar dentro de un ambiente caliente y de humo volcánico, muy peligroso para los aviones convencionales. El propósito es obtener mapeos de temperaturas, presiones y flujos gaseosos, como así también conocer la distribución, concentración y composición química de los gases emitidos más un registro de sonidos. Justamente uno de los objetivos es ver si con estos datos más los aportados habitualmente por los Observatorios Vulcanológicos es factible mejorar signi-

ficativamente los modelos computacionales que tratan de predecir una erupción. A esto se suma la segunda noticia sobre un nuevo tipo de estudio, realizado por la Escuela de Ciencias Marinas y Atmosféricas de la Universidad de Miami, que desde satélites obtiene datos [*por interferometría de radar de apertura sintética (InSAR)*] que permiten investigar las deformaciones que va sufriendo un volcán antes de la erupción. Los investigadores han encontrado evidencias de que varios volcanes (*principalmente los explosivos*) se «inflan» antes de las erupciones debido a la presión que ejerce la subida de magma. La detección de tales deformaciones, por medio de este tipo de imágenes satelitales, es un gran paso para la vulcanología porque ésta sería la primera evidencia inequívoca que podría ayudar a predecir la inminencia de una erupción y justamente, por poder observarse en una amplia zona de terreno, es muy optimista no sólo para el caso de volcanes comunes sino también para el de supervolcanes.

### ■ CONCLUSIÓN

Los países con zonas volcánicas importantes y que ya han sufrido erupciones tienen una cierta experiencia para actuar, siempre que no los sorprenda una de magnitud mucho mayor a las habituales. El problema realmente serio se presenta si se diera la de un SV y sobre todo si fuera un IEV-8 ya que los últimos ocurrieron hace demasiado tiempo y por lo tanto no se dispone de experiencia directa, pero sí se sabe, como ya hemos descrito, que son lo suficientemente poderosos como para provocar daños en áreas muy extensas, pudiendo afectar seriamente a más de un país entero y con consecuencias climáticas, económicas y de comunicaciones con alcance a todo el planeta. Para este caso lo más importante es seguir investigan-

do hasta obtener un procedimiento o técnica que pueda predecir con seguridad y suficiente tiempo tanto su erupción como su magnitud y así poder llevar a cabo una evacuación masiva de toda la extensa zona de riesgo y para el resto del planeta poner en marcha una prevención y mitigación acorde a las consecuencias esperadas.

## ● C - TORMENTAS SOLARES

Para poder entender las Tormentas Solares y sus consecuencias para nuestro planeta primero debemos conocer las características y propiedades del Sol. El mismo es una estrella de 4.600 millones de años y en síntesis podemos decir que no es más que una bola de gas sobrecalentado donde se producen reacciones termonucleares. Los modelos que representan la historia de su evolución indican que se encuentra en su etapa más estable cursando la mitad de su vida útil por lo que seguirá así por otros 4.600 millones de años momento en que, debido al agotamiento de su hidrógeno y la abundancia de helio, comenzará a convertirse en una Gigante Roja para luego hundirse en su propio peso y transformarse en Enana Blanca y finalmente después de muchísimo tiempo dejar de brillar (*por enfriamiento*) y terminar su historia como una Enana Negra (*ver glosario*). Para ese comienzo de expansión en Gigante Roja los expertos también indican que comenzará a tener lugar el choque de nuestra galaxia la Vía Láctea con su vecina Andrómeda, choque que durará unos 2.000 millones de años para lograr una fusión total (*ese tiempo podría ser bastante mayor si el choque no se produce de frente*).

El Sol se encuentra a una distancia media de la Tierra de 150 millones de km (*en promedio su luz tarda en*

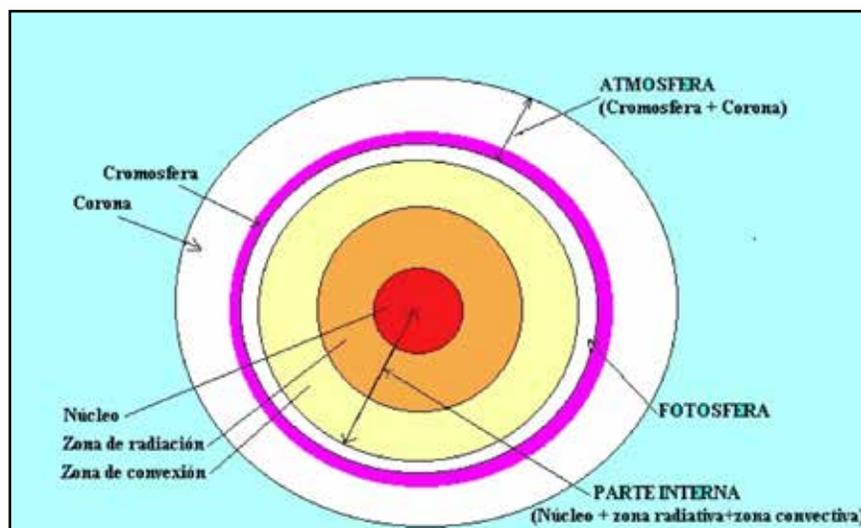
*llegarnos 8 minutos y 19 segundos*) y posee un radio de unos 700.000 km (*considerado hasta la Fotosfera*), 110 veces el de la Tierra (6.371 km), que para poder hacernos una idea de su gran tamaño digamos que dentro de él cabrían algo más de 1 millón de planetas Tierra. A pesar de ello hay estrellas mucho más grandes, como Eta Carinae, entre 100 y 150 veces el radio de nuestro Sol, pero Betelgeuse (*también llamada Rigel o Alfa Orionis*) lo es 650 veces (*si fuera nuestro Sol llegaría hasta el Cinturón Principal de Asteroides, entre Marte y Júpiter*), sin embargo una de las más grandes y luminosas conocida hoy es VY Canis Majoris, con 1.800 a 2.600 radios solares, por lo que llegaría hasta algo más de Saturno, o sea prácticamente casi tan grande como nuestro Sistema Solar.

Si bien es mucho lo que nos falta conocer de nuestro Sol sí podemos afirmar que en las últimas décadas es también mucho lo que se ha avanzado, particularmente sobre la dinámica de su superficie y sector exterior (*Fotosfera, Cromosfera y Corona*), esto se logró gracias a las observaciones y mediciones llevadas a cabo principalmente por

la NASA (*varias con la colaboración de la Agencia Espacial Europea - ESA*) a través de satélites y sondas de acercamiento al Sol, tales como las misiones: ULYSSES, ACE (*Explorador de Composición Avanzada*), SOHO (*Observatorio Heliosférico y Solar*), TRACE (*Explorador Coronal y de Región de Transición*), SDO (*Observatorio de Dinámica Solar*). También, entre otras, es importante nombrar las misiones YOHKOH (*rayo de sol en japonés*) e HINODE (*amanecer en japonés*) de la agencia espacial japonesa JAXA, ambas en colaboración con EEUU y el Reino Unido.

## ■ ESTRUCTURA DEL SOL

El modelo que hoy tenemos de la estructura del Sol es el de un núcleo y varias capas cuasi-esféricas cada una con propiedades diferentes que aún hoy son difíciles de determinar fehacientemente. Como se puede observar en la **Figura C1**, el Sol posee un Núcleo al cual le sigue la Zona Radiativa y a ésta la Zona Convectiva, todo esto constituye la parte interna, luego vienen la Fotosfera que delimita la parte interna de la externa. La externa, considerada atmósfera del Sol, está



**Figura C1:** Estructura interna y externa del Sol, donde los espesores de las capas no son los reales, se lo representa así con el propósito de tener una mejor visualización de sus partes. (Imagen obtenida de Internet).

formada por la Cromosfera y la Corona.

**Núcleo:** zona donde se produce la fusión termonuclear, su radio es de aproximadamente 150.000 km ( $1/4$  a  $1/5$  del radio total del Sol), su temperatura de unos 15 a 17 millones de grados K y la presión 340.000 millones la atmosférica terrestre.

**Zona Radiativa (o de Radiación):** circunda al núcleo y es tan densa que la radiación proveniente del núcleo (*mayoritariamente X y  $\gamma$* ) puede durar varios cientos de miles de años atravesándola para poder llegar hasta la Fotosfera. La energía generada en el núcleo se difunde a través de esta zona por absorción y emisión continua (*lo que retrasa su migración*). Su temperatura se calcula del orden de 1 a 2 millones K y su espesor de unos 300.000 km.

**Zona Convectiva (o de Convección):** con un espesor de unos 200.000 km es donde se produce el fenómeno de convección, es decir, columnas de gas y plasma caliente ascienden hasta la superficie donde se enfrían y vuelven a descender. En esta zona la circulación convectiva es el principal mecanismo de transferencia de energía desde la Zona Radiativa a la Fotosfera. Su temperatura se considera un pronunciado gradiente térmico entre la temperatura de la Zona Radiativa y la de la Fotosfera.

Es importante señalar que la menor temperatura que tiene lugar en ciertas regiones de esta zona permite que los electrones sean capturados por los protones dando lugar a un cierto porcentaje de verdaderos átomos neutros de hidrógeno (*gas en vez de plasma*), como así también de otros elementos más pesados. Estos son muy eficaces para absorber fotones y así dar una

relativa opacidad a la región, disminuyendo de ese modo la propagación de la radiación, sobre todo la de altas frecuencias, X y  $\gamma$ .

**Fotosfera:** capa delgada de unos 300 a 500 km que constituye la parte visible del Sol y que consideramos como su superficie, siendo además la divisoria entre la parte interna y externa. La mayor parte de la radiación solar que llega a nuestro planeta proviene de esta capa, su temperatura media ha podido ser medida con bastante precisión siendo de 5.800 K.

**Cromosfera:** es una región de un promedio de 3.000 km de espesor que sólo puede ser vista en un eclipse total de Sol. Es de color rojizo-anaranjado y de temperatura que va desde 5.800 K en el punto en que limita con la subyacente Fotosfera a 1 millón de K en la parte superior en contacto con la Corona. Está formada por gases enrarecidos donde existen fortísimos campos magnéticos que continúan en la Corona. Por su baja densidad es esencialmente transparente a la radiación emitida desde la Fotosfera.

**Corona:** es la capa más tenue y externa de la atmósfera solar y puede haber zonas donde se extiende más de 1 millón de km desde la Cromosfera, aunque su límite externo es sumamente irregular y por tanto no está realmente definido. Su temperatura es muy alta, de 1 a 2 millones de K. Está formada por gases enrarecidos y gigantescos campos magnéticos, que varían su forma de hora en hora. Desde la Corona comienza a viajar por el espacio el llamado Viento Solar y en ella (*junto con la Fotosfera y la Cromosfera*) ocurren fenómenos como las Llamadas Solares y las Eyecciones Masivas de partículas. Durante los eclipses la Corona se puede apreciar a simple

vista, como un halo blanco-perla alrededor del Sol. Todos los detalles estructurales y dinámicos de la Corona son debidos al campo magnético del Sol.

**Composición:** Por espectroscopia lo que se puede conocer bastante bien es la composición de la Fotosfera: hidrogeno 73,47 %, helio 24,85 %, oxígeno 0,77 %, carbono 0,29 %, hierro 0,16 %, neón 0,12 %, nitrógeno 0,09 %, silicio 0,07 %, magnesio 0,05 % y azufre 0,04 % y un 0,09 de otros elementos como aluminio, bario, cromo, cobalto, potasio, calcio, níquel y algún otro.

En el total del Sol se calcula que debe haber: hidrógeno 81 % y helio 18 %, el 1 % restante se reparte en otros elementos. En el núcleo existiría un 49 % de hidrógeno, 49 % de helio y un 2 % por ciento de otros elementos.

Con respecto a los elementos más pesados que el carbono que se detectan en el Sol hoy se piensa que pueden no haberse formado en él sino ser herencia de una Supernova que alguna vez explotó y produjo o afectó la Nube Cósmica (*Nebulosa*) de la cual se formó nuestro Sistema Solar, y así llegando como regalo en la enorme cantidad de asteroides (*que se sabe contienen esos elementos*) que desde miles de millones de años están continuamente chocando sobre él.

## ■ DINÁMICA SOLAR

Debido a la gran fuerza gravitacional de un astro como el Sol, toda la materia que lo constituye es fuertemente atraída hacia su centro, esto hace que en su Núcleo, y solo aquí, la presión y temperatura lleguen a ser lo suficientemente alta para permitir la fusión termonuclear de hidrógeno en helio. La energía liberada por esta fusión como presión

de radiación logra compensar la gravitación, deteniendo la contracción y así evitar que el astro pueda colapsar sobre sí mismo, es decir, es una lucha entre dos grandes fuerzas, la nuclear contra la gravitatoria, en la actualidad compensadas pero que finalmente, al acabarse el hidrógeno, terminará triunfando la gravitatoria.

De todas las reacciones nucleares la conversión de hidrógeno en helio es la más eficiente y con la que viven las estrellas la mayor parte de su vida. El helio es más denso que el hidrógeno y a medida que éste es producido se asienta en el centro de la estrella, desplazando el hidrógeno hacia zonas externas más frías y de menor presión, donde llega el momento en que ya no puede producirse tal reacción.

En física se denomina plasma al cuarto estado de agregación de la materia, un estado fluido similar al estado gaseoso pero en el que cierta proporción de sus partículas están cargadas eléctricamente, es decir se trata de un gas ionizado. Según dicha proporción y las características de las partículas cargadas se suele distinguir distintos tipos de plasma, el que corresponde al Núcleo de las estrellas recibe el nombre de Plasma Termonuclear y su característica es que los átomos están totalmente ionizados, sus capas electrónicas no existen, el plasma es una mezcla gaseosa de núcleos "pelados" y electrones libres y es en estas condiciones que tiene lugar la fusión termonuclear de hidrógeno en helio, en realidad de núcleos de hidrógeno en núcleos de helio (*protones en partículas alfa*).

En un Plasma Termonuclear como el del Núcleo de las estrellas la transformación de hidrógeno en helio se puede realizar básicamente a través de dos procesos, la reac-

ción Protón-Protón [PP], o bien por lo que se conoce como el Ciclo del Carbono [CC]; con cualquiera de los dos se obtiene el mismo resultado. También podría darse, pero en menor proporción, por una tercera reacción conocida como proceso Triple Alfa [TA].

Para estrellas del tamaño de nuestro Sol y menores la fusión se produce casi totalmente mediante la reacción PP (**Figura C2**), donde 4 protones (*núcleos de hidrógeno*) se fusionan convirtiéndose en una partícula alfa (*núcleo de helio*), liberando 2 positrones y 2 neutrinos, pero además sucede que se produce una pequeña pérdida de masa (*la partícula alfa tiene 0,7 % menos de masa que la que tiene la suma de los 4 protones originales*) que se transforma en energía electromagnética (*de acuerdo con la fórmula de Einstein  $E=mc^2$* ) lo que da lugar a que en cada segundo que pasa nuestra estrella pierda aproximadamente una masa de 4 millones de toneladas, haciéndose cada vez más ligera. Esa energía, proveniente de la transformación de masa, es la que una vez que alcanza la fotosfera es irradiada a todo el espacio.

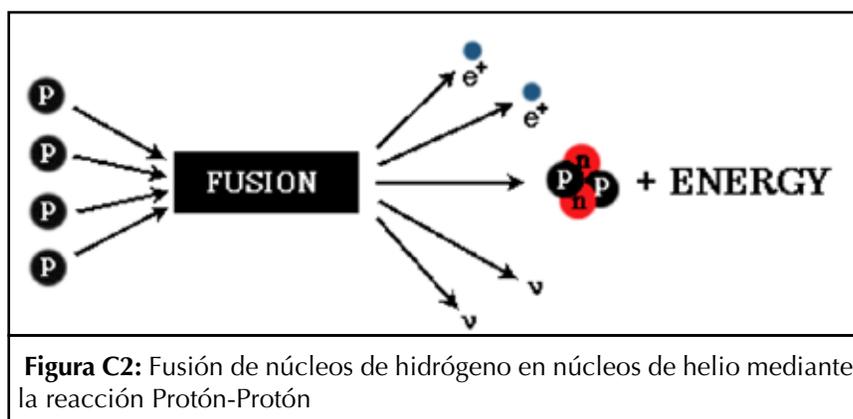
En estrellas más masivas que nuestro Sol y con mayor temperatura y presión en sus núcleos, también participa la reacción CC, sólo que además de los átomos de hidrógeno

es necesaria la presencia del carbono que actúa como elemento catalizador.

Después de la formación de helio el proceso de las transformaciones nucleares continúa con la creación sucesiva de otros elementos más pesados que el helio. Por el tamaño de nuestro Sol difícil que llegue más allá del carbono (*por fusión de núcleos de helio entre sí*), aunque también es posible que se den algunas pocas fusiones de carbono con helio para dar oxígeno. Ahora en estrellas mucho más masivas puede continuar hasta el hierro, aquí es donde para lograr los más pesados participa el proceso Triple Alfa. La producción de los elementos más pesados que el hierro no es resultado de reacciones termonucleares, se producen sólo por captura de neutrones en procesos muy violentos de la evolución de las estrellas, como podría ser en la explosión Supernova o choque de Estrellas de Neutrones, pero hay que tener en cuenta que la ausencia de carga del neutrón facilita este proceso.

Por lo que hemos descrito podemos considerar que las estrellas no son otra cosa que fábricas donde se originan los elementos químicos de la tabla periódica, partiendo del hidrógeno y subiendo a los de mayor número atómico.

El período de rotación del Sol



sobre su propio eje que observamos sobre la Fotosfera varía (*recordemos que es un gas*) desde aproximadamente 25 días en el ecuador hasta 36 días en los polos, pero en su interior, bajo la Zona de Convención, todo parece rotar con un período de 27 días. Estas diferentes velocidades distorsiona y confunde los campos magnéticos haciéndolos turbulentos e inestables, lo que junto a otros factores es fuente de formación de las famosas manchas que se observan en la Fotosfera y que como veremos más adelante están fuertemente relacionadas con las Explosiones Solares que a su vez son las responsables de las Tormentas Solares en la Tierra.

Estudios recientes parecen revelar que la interface entre la Zona Radiativa y la Zona de Convección actúa como una dínamo magnética que sería responsable de la generación de la mayor parte del campo magnético que muestra el Sol. Tal vez lo mismo podría suceder entre el Núcleo y la Zona Radiativa. Esto indicaría diferentes velocidades de rotación entre ellos. Algunos trabajos parecen mostrar que la Zona de Convección rota más lenta que la Radiativa en los polos pero sin embargo, la Zona de Convección rota más rápido que la Zona Radiativa en el ecuador. Estas diferencias en rotaciones causan tremendas fuerzas cortantes en la delgada región entre la Zona Radiativa y la de Convección siendo fuente de tremendas deformaciones de las líneas magnéticas.

Una de las herramientas utilizadas para estudiar el Interior del Sol es la llamada "heliosismología". La turbulencia en la Zona Convectiva crea ondas que resuenan a través de la estrella haciéndola "sonar" como una campana. Esto crea en la Fotosfera movimientos hacia arriba y hacia abajo (*oscilaciones solares*) que revelan el escenario existente en lo

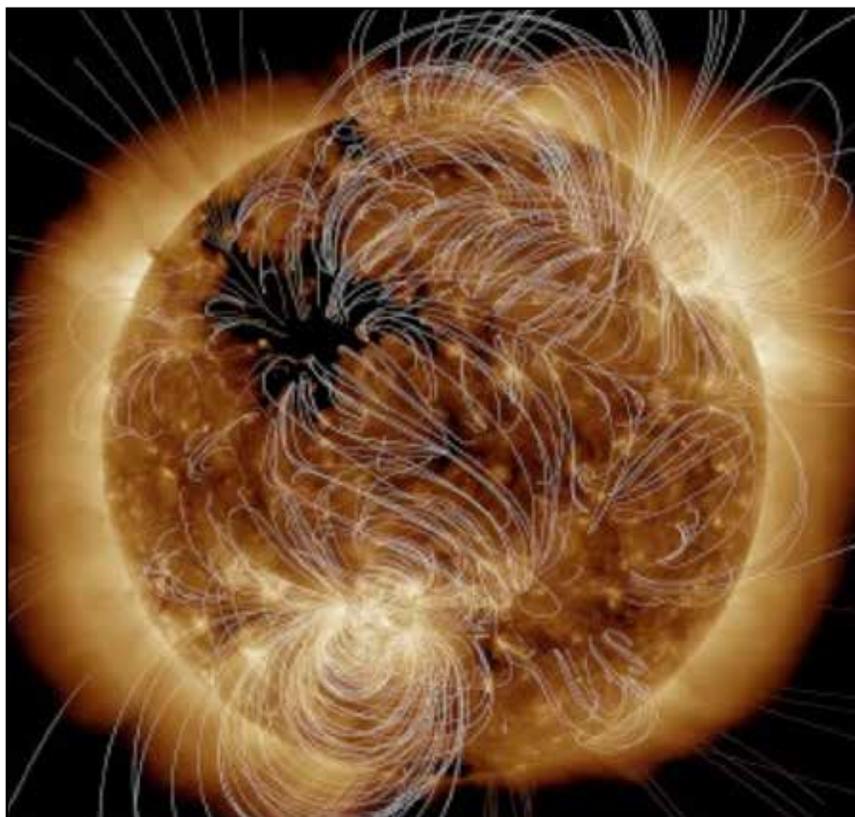
profundo del Sol, del mismo modo como las ondas sísmicas exponen la estructura interna de la Tierra. Tales oscilaciones pueden estudiarse por medio del Efecto Doppler (*se usan las llamadas "Cámara para Imágenes Michelson-Doppler"*).

### ■ ¿CÓMO SE PRODUCE Y EN QUÉ CONSISTE UNA TORMENTA SOLAR?

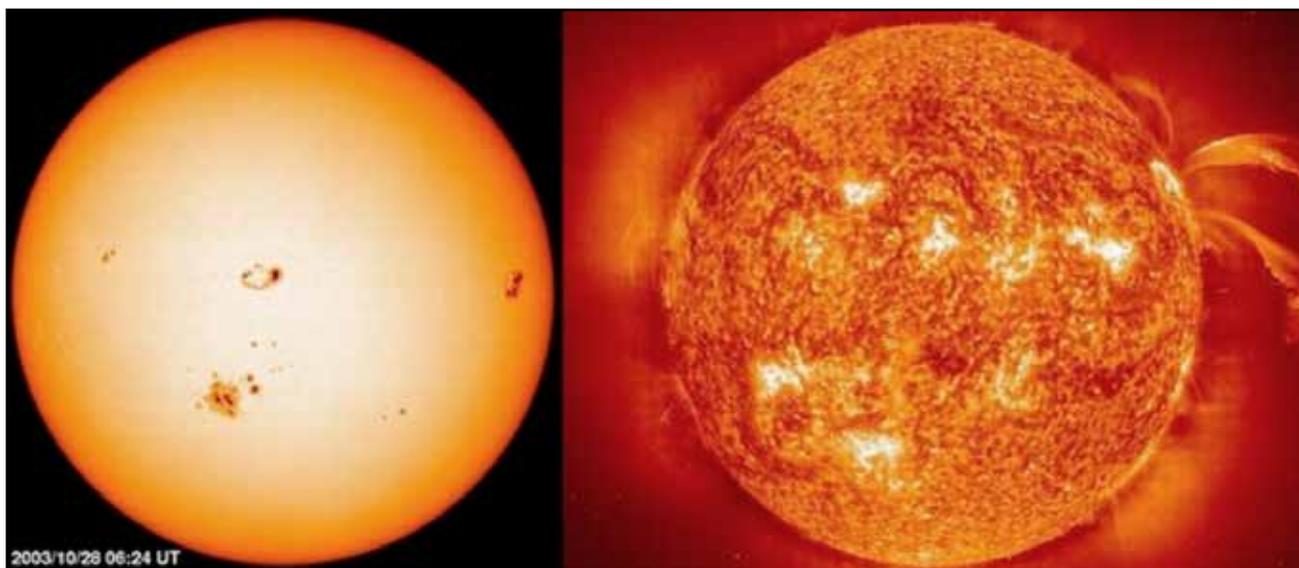
Hemos dicho que en la Zona Convectiva grandes masas de plasma caliente son transportadas hasta la Fotosfera que al enfriarse gran parte retorna al interior de la misma para luego repetir el ciclo. Esta circulación, conocida en física como movimiento de convección, está muy alejada de ser un flujo laminar o relativamente suave y ordenado, muy por el contrario es sumamente turbulento e inestable y si a esto se suma la diversidad de corrientes de plasma en las otras regiones del Sol

con intensidades, velocidades y direcciones diferentes, el resultado es una fuerte irregularidad en la generación de campos magnéticos, mostrando en su superficie entrecruzamientos y superposiciones de líneas que se dan en forma totalmente heterogéneas y distorsionadas, como se muestra en la **Figura C3**.

Estas dinámicas complejas y turbulentas de plasmas, campos magnéticos y fluctuaciones de presión hacen que la Fotosfera no se nos presente como una superficie homogénea en brillo y color (**Figura C4**), por el contrario tiene un aspecto grumoso burbujeante y, además, en ella aparecen regiones como parches de luminosidad significativamente más baja (*claramente contrasta con el resto*) por lo que se le dio el nombre de Manchas Solares, las cuales son de diferentes tamaños y tiempos de duración (*pueden llegar a permanecer hasta dos meses*). Las

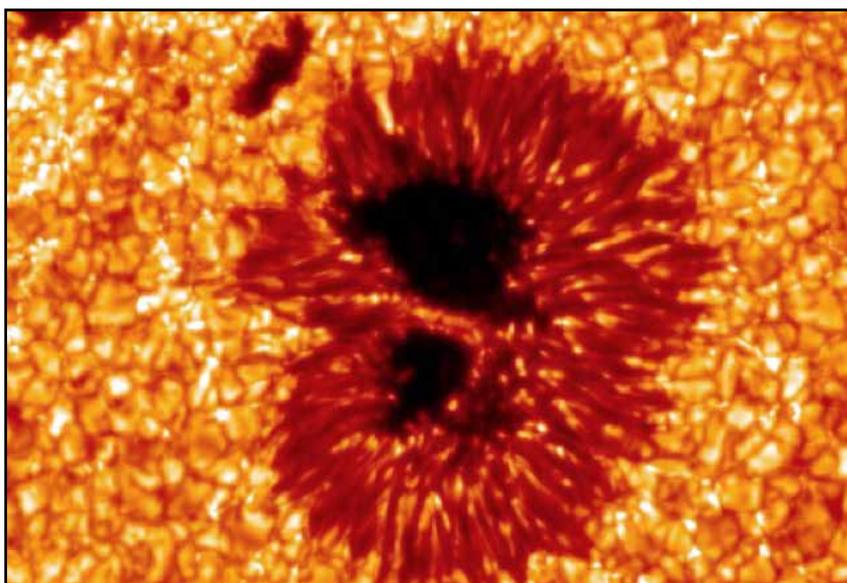


**Figura C3:** Líneas de campos magnéticos emergentes de la Fotosfera. Puede observarse su compleja irregularidad. (Imagen de Internet).



**Figura C4:** Para ver con mayor detalle y nitidez diferentes aspectos del Sol se emplean distintos tipos de filtros. Así con un filtro que deja pasar longitudes de ondas en un amplio rango del visible se obtiene la imagen de la izquierda donde se puede ver nítidamente varias Manchas Solares, en cambio la misma foto pero observada en el ultravioleta nos muestra la imagen de la derecha donde se puede observar el aspecto granuloso de la Fotosfera, con una importante prominencia en la parte superior derecha. Las zonas más blancas son las más calientes, en tanto las más oscuras son las relativamente más frías. Lo más frecuente es que las manchas se presenten en grupos de dos, se cree que una mancha actúa como un polo magnético norte y la otra como uno sur. Imágenes de NASA/ESA tomadas por la sonda SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*).

variaciones que observamos en número y tamaño de dichas manchas ocurren en ciclos, casi regulares, de 11 años, es decir la máxima o la mínima cantidad observada de Manchas Solares ocurren cada 11 años. Hoy se sabe que cuando se produce el mayor número el Sol está en máxima actividad y cuando se produce el menor número en mínima actividad (*en algunos ciclos e incluso durante una sucesión consecutiva de ellos se llegó a observar que el Sol quedó prácticamente limpio de manchas, un caso famoso fue el que se conoce como "Mínimo Solar Maunder" el cual tuvo lugar durante toda la segunda mitad del siglo XVII, en rigor desde 1645 a 1715*). Estos ciclos son acompañados por alteraciones climáticas en la Tierra, justamente el Mínimo Solar Maunder, junto con la erupción del SV Tambora (1815), coincidieron con la llamada "Pequeña Edad del Hielo" (1350 a 1850) y donde seguramente influyeron también algunos otros



**Figura C5:** Detalle de una mancha solar tomada por el satélite HINODE de la Agencia Espacial Japonesa JAXA

factores naturales.

En la parte más oscura de las Manchas Solares la temperatura puede llegar a descender hasta los 2.000 K y en la penumbra hasta unos 4.000 K (**Figura C5**). Este descenso

se debe a las características de los campos magnéticos locales, donde sus líneas se disponen de tal manera que impiden que materia caliente ascienda desde la Zona Convectiva. El tamaño de las manchas puede llegar a ser realmente enorme, varias

de las observadas han tenido áreas de más de 10 planetas Tierra.

Esa actividad sumamente energética en la Fotosfera da lugar a erupciones gigantescas de materia y radiación que siguen a intensas líneas de campos magnéticos las que a su vez penetran significativamente la Cromosfera y la Corona y que observamos como prominencias en forma de lenguas y bucles, muchas veces con aspecto de herradura (**Figura C6**) y pueden llegar a tener miles y miles de km (*se han observado algunos de hasta más de 30 veces el diámetro de la Tierra*).

Las convulsiones más violentas son llamadas Explosiones Solares (o *Llamaradas Solares*) que siempre se dan en los lugares donde hay Manchas, una sola de ellas puede liberar la energía de más de 1.000

millones de MT (*55.000 millones de bombas atómicas como la de Hiroshima*). Estas explosiones tienen su origen en campos magnéticos muy intensos que afloran de la Fotosfera y donde un conjunto de líneas magnéticas de polaridad opuesta entran en contacto, dando lugar al proceso conocido como de reconexión magnética el cual es sumamente violento y de tal manera que conlleva a una importante Eyección (*hacia el espacio*) de Masa Coronal (EMC) a lo que se le suma un intenso flujo de radiación electromagnética (*en todo su espectro, desde ondas de radio hasta los rayos X y  $\gamma$* ). Esta EMC de una Explosión Solar contribuye a darle un fuerte incremento momentáneo al Viento Solar normal (*Tanto la EMC como el Viento Solar normal están compuestos fundamentalmente por electrones, protones y*

*partículas alfa*).

Cuando una de estas explosiones solares, con su consecuente EMC y radiación, se produce en dirección a nuestro planeta, lo que tiene como principal consecuencia perturbar temporalmente nuestro Campo Geomagnético, hablamos de **Tormenta Solar en la Tierra (Figura C7)**.

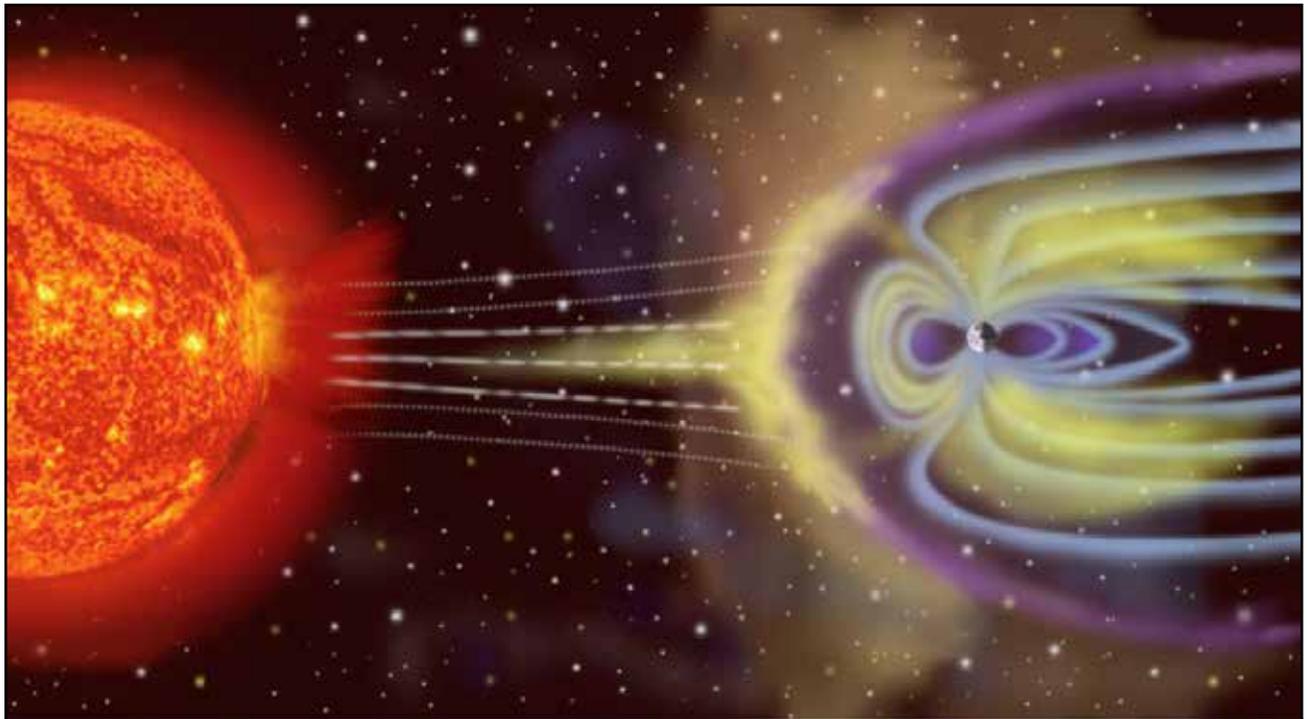
## ■ CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA

La estructura del campo magnético que se manifiesta alrededor de la Tierra tiene dos orígenes, uno interno y otro externo. El campo de origen interno es causado por la circulación de corrientes eléctricas debidas a la rotación del Núcleo Terrestre Externo, el cual consiste principalmente de hierro líquido altamente conductor. Este campo es semejante al producido por un dipolo magnético simple situado en el centro de la Tierra que hoy tiene una inclinación de  $11,5^\circ$  respecto al eje de rotación y es el responsable de más del 90% del campo medido en la troposfera. En los polos geomagnéticos las líneas de campo magnético son perpendiculares a la superficie terrestre en tanto que, en el ecuador, son paralelas como muestra la **Figura C8**. Este campo de origen interno no es constante ni uniforme, sino que presenta una variación muy lenta en el tiempo que se conoce como variación secular.

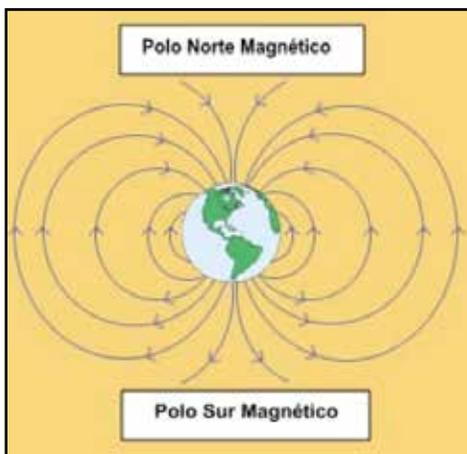
En tanto que la contribución externa corresponde al campo magnético del Sol (*incluyendo el que genera el Viento Solar*) lo que al sumarse al interno tiene como consecuencia modificar el aspecto de dipolo simple a tipo cometa, como se muestra en la **Figura C9**.



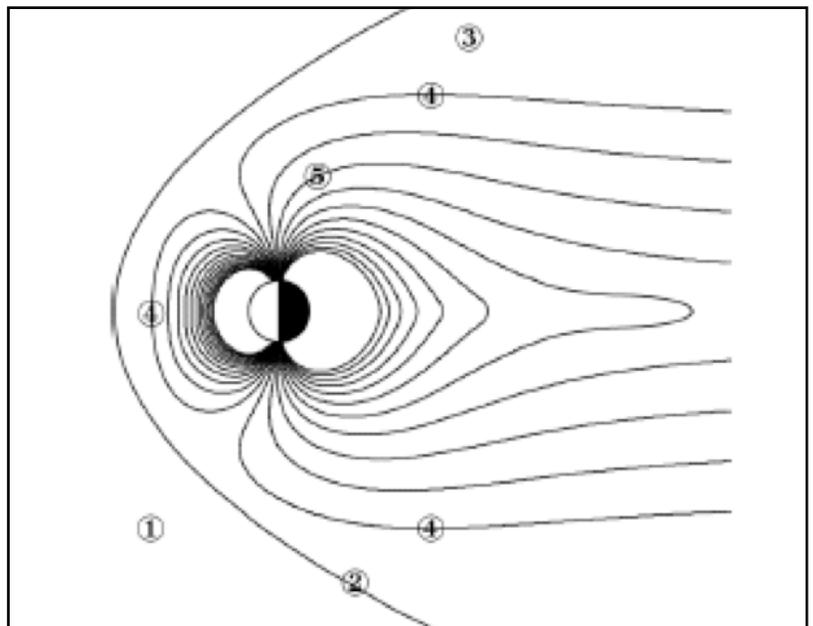
**Figura C6:** Foto de Explosión Solar en forma de herradura, ocurrida el 30 de marzo de 2010, tomada por la sonda solar SDO de la NASA. En la foto se hace una comparación aproximada con el tamaño de la Tierra.



**Figura C7:** El Campo Magnético de la Tierra hace de escudo protector frente al flujo de partículas cargadas provenientes del Sol (Imagen de Internet).



**Figura C8:** Campo Magnético Terrestre. Aspecto de la contribución interna



**Figura C9:** Aspecto de la Magnetosfera Terrestre dada por la contribución interna (terrestre) más la externa (solar). 1.- Región Interplanetaria, 2.- Arco o frente de Choque, 3.- Magnetofunda o Magnetopausa (límite entre el magnetismo de la Tierra y el solar), 4 y 5.- Líneas de Campo Magnético de la Tierra desformadas por la influencia solar.

**■ CLASIFICACIÓN DE LAS TORMENTAS SOLARES Y CONSECUENCIAS PARA NUESTRO PLANETA.**

Los astrofísicos clasifican a las Tormentas Solares de acuerdo a su intensidad en rayos-X. Existen tres categorías: **1)** Las de **Clase X** que son las más grandes y peligrosas, logran temporalmente alterar, modificar y atravesar nuestro escudo geomagné-

tico y así provocar eventos de gran magnitud como: cortes generalizados de distribución de energía eléctrica (*principalmente por daños en los transformadores debido a la so-*

*brecarga por corrientes inducidas*), daños en equipos eléctricos y electrónicos (*por la misma causa*), alteración e interrupción en todo tipo de comunicaciones, serios daños a sa-

télites (*desafectarlos e incluso provocar su caída*) como así también a los astronautas que pudieran estar en órbita en ese momento y realizando tareas fuera de la nave, ya que dentro de las mismas están preparadas para bloquear los rayos cósmicos.

**2)** Las de **Clase M** son de intensidad mediana, pueden generalmente causar ligeros apagones hasta una relativamente corta distancia de las regiones polares. **3)** Las de **Clase C** se dan con relativa frecuencia pero son pequeñas y de consecuencias poco notorias aquí en la Tierra. Cada categoría tiene subdivisiones (*subclases*) que corren de 1 a 9 y se las indica como: X1 a X9, M1 a M9 y C1 a C9.

Todos los daños señalados según cada clase se hacen más intensos cuando mayor es el nivel de la subclase y más cerca se esté de los polos.

El por qué una Tormenta Solar produce corrientes inducidas, en las redes eléctricas y de comunicación, se debe a que cuando la EMC golpea nuestro campo magnético lo altera fuertemente haciéndolo oscilar (*vibrar, temblar*), oscilaciones que por las leyes del electromagnetismo son fuente de generación de corrientes eléctricas en los materiales conductores. En este caso se las suele llamar corrientes inducidas por vibración geomagnética.

Si bien los satélites artificiales han sido diseñados específicamente para evitar daños por radiación cósmica, particularmente por la que proviene del Sol, la causa principal de daño resulta por la erosión que sufren sus paneles solares lo que reduce significativamente su capacidad de generar energía eléctrica. En esto se tiene suficiente experiencia ya que muchos satélites de comunicaciones, por ejemplo el ANIK E1 y el E2 en 1994 y TELSTAR 401 en 1997, han resultado dañados por este motivo.

Un caso un poco diferente se debe a la expansión de la atmósfera terrestre por la abundancia de rayos X que produjo daños al ASKO japonés el 14 de julio de 2000.

La abundante aparición, con fuerte intensidad y pronunciada extensión desde los polos hacia el ecuador, de las auroras boreales y australes, resulta un verdadero detector y cuantificador natural de una Tormenta Solar.

Como vemos las tormentas solares no causan en principio daño directo importante a las personas, pero sí alteran o dañan la tecnología, lo cual hoy resulta crítico para la actividad normal cotidiana y para la economía, particularmente en las regiones que se encuentran en las latitudes altas, ya que en los polos convergen las líneas geomagnéticas.

Generalmente nuestra magnetosfera nos protege de las partículas cargadas que llegan con el Viento Solar normal y también cuando su intensidad es incrementada por alguna Explosión Solar clase M o C. Ahora bien, como las de clase X son pocos frecuentes y menos aún con su subclase alta, y tuvieron lugar en épocas no tan tecnificadas como la que vivimos en la actualidad, no poseemos experiencia directa de lo que pudiera sucedernos hoy pero sí se han hecho simulaciones que nos alertan de lo que pudiera llegar a acontecer si se produjera alguna que, de hecho, ya fueron observadas importantes explosiones pero con la suerte que no apuntaron hacia la Tierra.

La única referencia concreta la tenemos del año 1859 cuando tuvo lugar la Tormenta Solar más importante que se tenga constancia hasta el día de hoy (*bautizada como "El Evento Carrington"*, por el astrónomo británico que la detectó y estu-

*dió*). Si bien en ese año no disponíamos de instrumentos para medir la intensidad de los destellos solares con precisión, lo más probable es que este evento haya sido de clase X llegando a una subclase 7 o superior y lo que es peor, la Explosión Solar que la produjo fue dirigida directamente hacia nuestro planeta. Las primeras Manchas Solares comenzaron a aparecer el 28 de agosto y el pico de intensidad se produjo los días 1 y 2 de septiembre, momento en que en gran parte del hemisferio norte se observaron grandes e inusuales Auroras Boreales que insólitamente llegaban hacia el sur hasta zonas de baja latitud como Miami, La Habana, islas Hawaii, Roma, Madrid, Tokio y otras. Esta tormenta causó el colapso de las escasas redes mundiales de telégrafos de esa época. La Tierra no era entonces un planeta tan globalizado, la tecnología en muy poco podía compararse con la actual, y la dependencia eléctrica era realmente insignificante. En tanto que una de las explosiones solares más fuertes registradas en la actualidad sucedió el 4 de noviembre del 2003 pero con la bendición de no haber sido dirigida hacia la Tierra, de haberlo hecho la tormenta hubiese sido de clase X y subclase apenas algo menor a la de Carrington. El 13 de marzo de 1989 otra Tormenta Solar dejó durante nueve horas sin energía eléctrica a toda la provincia canadiense de Quebec y se reportaron daños en transformadores en Nueva Jersey y Gran Bretaña, como así también se registraron más de 200 anomalías en las redes de distribución eléctrica de otros países.

Así las cosas, los expertos nos alertan del peligro de una Tormenta Solar clase X de grandes dimensiones y señalan "no es una cuestión de si tal tormenta sucederá sino de cuándo sucederá, cuán fuerte será y si su EMC será dirigida hacia la

Tierra". Por lo antes dicho comunidades enteras podrían quedar sin electricidad, comunicaciones, agua potable, alimentos, medicamentos, combustibles, etc. y por un tiempo significativo quedaría inútil todo lo dependiente de satélites (*internet, GPS, telefonía satelital, sistemas de guía aéreos y navieros, etc.*). Si bien todo puede ser reparado luego de la tormenta, el importante tiempo que llevaría traería un verdadero caos económico y social.

### ■ PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN FRENTE A UNA TORMENTA SOLAR IMPORTANTE

La NASA, la NOAA (*Administración Nacional Oceánica y Atmosférica*), la EDA (*Agencia Europea de Defensa*) y la ESA (*Agencia Espacial Europea*) advierten sobre la importancia de preparar tanto a las autoridades (*para que sepan cómo actuar*) como a toda la sociedad (*para que desarrolle una conciencia adecuada*) frente a la posibilidad de tormentas solares importantes, que por varios días y hasta meses nos pudiera dejar sin los servicios básicos, particularmente el de no contar con corriente eléctrica, fundamental para una multiplicidad de necesidades y actividades.

Lo primordial es saber con suficiente antelación (*alerta temprana*) cuándo puede ocurrir un tal evento, con el propósito de lograr poner en marcha a tiempo el plan de prevención (*previamente establecido*), el cual consiste primordialmente en que las empresas generadoras y distribuidoras corten de expreso los servicios eléctricos y así proteger las redes y sus transformadores y, por otra parte, poner los satélites en su modo más seguro. Esto mitigaría en mucho los posibles daños ya señalados. EEUU acaba de desarrollar un sistema, llamado "Solar Shield" (*Escudo Solar*), con el propósito de

alertar a las empresas de electricidad con el tiempo suficiente para que desconecten sus sistemas en forma preventiva.

Con respecto a las centrales nucleares y también las plantas industriales, cuya seguridad depende de sistemas eléctricos, se tiene la experiencia de Fukushima en Japón (*terremoto y tsunami de marzo de 2011*). El fallo de la red eléctrica causaría una inmediata caída de sus sistemas de seguridad por lo que se hace obligatorio que cuenten con generadores diesel que automáticamente se pongan en marcha. Cada planta debería contar con reservas de combustible diesel al menos para 3 meses.

Hoy es factible conocer con antelación el grado de probabilidad de una Explosión Solar de alta intensidad, como así también si su EMC se dirigirá o no hacia la Tierra ya que por un lado se conoce el mecanismo, que sabemos comienza con la formación de Manchas Solares de gran envergadura, y por otro lado contamos con sondas (*como STEREO, SDO y ACE.*) que nos proporcionan información precisa sobre lo que está sucediendo en el Sol en cada instante.

En Estados Unidos se creó el "Space-Weather Awareness Dialogue" (SWAD), que tiene por misión dedicarse a diseñar políticas de prevención y mitigación del efecto de tormentas solares, en tanto que a NOAA (*en colaboración con la NASA*) se le dio la responsabilidad de informar con antelación cuando se va a producir un tal acontecimiento.

Se sabe que luego de la formación de manchas solares existen tres etapas bien definidas antes de una inminente Explosión Solar: la primera es la "precursora", donde

la energía que se va a liberar se va preparando y acumulando lo que origina leves emisiones de rayos X que podemos detectar con las sondas solares, la segunda etapa es la "impulsiva", los protones y electrones se aceleran siguiendo las líneas magnéticas hasta que logran exceder un determinado umbral energético, lo que luego les permitirá abandonar el Sol, en este proceso o segunda etapa, se emiten ondas de radio, rayos X y rayos gamma, también registrables y, en la tercera etapa, de "decaimiento", se registra un incremento y posterior decaimiento de los rayos X. La duración completa de estas tres etapas suele ser de unas 6 horas como mínimo.

Así el proceso de poder dar una alerta temprana, se basa primero en el seguimiento de la dinámica y características de las manchas solares desde el momento de su formación y luego en el reconocimiento de las señales dadas por las tres etapas descriptas. Aproximadamente a 4 horas de estar desarrollándose tales etapas ya se puede extrapolar con gran seguridad que el evento se producirá, esto nos da un margen de unas 2 horas como mínimo para dar la alarma de una Explosión Solar en dirección nuestra, la que seguro provocará en la Tierra una Tormenta Solar importante.

Pero en realidad el margen que tenemos para actuar es aún bastante mayor puesto que las 2 horas son para saber que se producirá una explosión en el Sol pero no para que llegue a la Tierra ya que una vez que se produce, si bien las radiaciones (*fotones*) llegarán en 8 minutos y 19 segundos, pues viajan a la velocidad de la luz, las diferentes partículas componentes de la EMC, que es lo más importante, lo hacen a velocidades que van entre 300 y 2.000 km/s lo que hace que las primeras tarden en llegar unas 20 horas para

luego seguir haciéndolo por un par de días. Por ejemplo las del evento Carrington comenzaron a llegar luego de 18 horas y los picos máximos se dieron entre 24 y 36 horas. Actualmente el Centro de Computación Visual de la Universidad de Bradford ha creado el primer sistema accesible de predicción automatizada en tiempo real, denominado ASAP (*por las siglas en inglés de "As soon as posible" - Tan Pronto Como sea Posible*), utilizando el análisis de imágenes en 3D generadas por los satélites solares que posee la NASA y la ESA.

### ■ ¿QUÉ DEBE HACER LA POBLACIÓN?

Sintéticamente lo más importante es:

- 1.- Mantener la calma y permanecer en lugares preferentemente cubiertos, es decir, no al aire libre.
- 2.- Desconectar todo lo que sea equipos eléctricos y electrónicos.
- 3.- Disponer de alimentos y líquidos (*fundamentalmente agua*) envasados o no perecederos para varios días, de ser posible para un mes (*esto es útil para cualquier tipo de catástrofe en general*).
- 4.- Contar con radio portátil, pilas, linterna, fósforos, velas, botiquín de primeros auxilios y reserva de aquellos medicamentos que por tratamientos se debe administrar diariamente (*cómo por ejemplo los de cardíacos y diabéticos*), y además todo otro elemento que uno considere útil para tal circunstancia.
- 5.- Seguir, con el mayor orden posible, todas las indicaciones que vayan dando los organismos a cargo de la situación (*autoridades, fuerzas armadas, defensa*

*civil, etc.*).

- 6.- Evitar en todo lo posible que cunda el pánico y tener en cuenta que sobreactuar sólo servirá para empeorar la situación.

### ■ CONCLUSIÓN

El perjuicio substancial que debe esperarse de una Tormenta Solar Extrema es fundamentalmente de orden tecnológico y de acuerdo a lo que se ha expresado, es mucho lo que se puede hacer para prevenir y mitigar, siempre que de antemano se dé la alarma y se sepa cómo actuar, esencialmente en cuanto a suspender a tiempo el suministro eléctrico y que las comunidades se encuentren preventivamente abastecidas de los recursos necesarios para soportar tal interrupción de energía por el tiempo que dure la emergencia. Evidentemente la posibilidad de éxito será mucho mayor si se preparara a la población realizando simulacros de un tal suceso. Esto hace que todos sepan cómo reaccionar cuando se da la alerta, lo que mitiga el miedo y el desconcierto. Debe tenerse en cuenta que esta preparación también resulta útil para otros casos de interrupciones eléctricas por largo tiempo, como los que suelen provocar terremotos, volcanes, huracanes, tornados e inundaciones.

### ■ CONCLUSION FINAL

La experiencia muestra que cuando una contingencia fue repentina (*sin previo aviso*) toda reacción social inmediata, incluyendo autoridades gubernamentales y toda fuerza de seguridad y defensa civil, fue siempre de pánico. Valgan como ejemplos recientes, el atentado terrorista de las Torres Gemelas de New York, los tsunamis de Sumatra y Japón y los terremotos de Haití y Chile.

Por eso se hace necesario enfatizar y aleccionar que en caso de catástrofes, regionales o globales, lo primordial es tratar de mantener la mayor calma y orden posible sin entrar en pánico. El pánico afecta nuestra capacidad de tomar decisiones adecuadas. Lo segundo (*de no estar imposibilitado*) es tratar de ser lo más solidario posible y colaborar con los entes a cargo de controlar y paliar la situación (*fuerzas armadas, policías, bomberos, cruz roja, defensa civil, sistemas de salud, etc.*). Pero no se debe actuar por cuenta propia, ya que si todos lo hacemos generaríamos una desorganización que complicaría aún más el problema. Lo correcto es ponerse a disposición de los organismos que tienen a cargo las distintas operaciones frente al acontecimiento.

En cuanto a los casos de gran magnitud, es de suma importancia considerarlos seriamente ya que tuvieron lugar en el pasado y por lo tanto no es nula la probabilidad de que puedan repetirse. Urge, en consecuencia, que la ciencia y la tecnología, apoyadas por una adecuada financiación internacional, den lugar a proyectos de estudio y aplicación que puedan evitarlos y de no ser posible al menos prevenirlos y mitigarlos con la mayor eficacia posible.

*Cuando te encuentras ante circunstancias extremas te das cuenta del valor que tiene la vida, y es cuando aprendes verdaderamente a distinguir y valorar lo importante de lo superfluo.*

*"Esta nave cósmica llamada Tierra no es en absoluto un lugar seguro. El nivel de evolución actual de la vida en ella es en todo un verdadero milagro. Ahora queda en manos de nuestra inteligencia respetarla y hacerla perdurar"*

## ■ GLOSARIO

**ASTEROIDES TROYANOS:** Son los que comparten órbita con un planeta. Los más numerosos son los de Júpiter.

**AURORA POLAR (Boreal y Austral):** Es un fenómeno luminoso temporal que aparece en el cielo de zonas polares aunque excepcionalmente también puede hacerlo en otras partes del mundo. Se debe a la excitación de los gases de la atmósfera ( $N_2$ ,  $O_2$ ) por partículas cargadas de alta energía provenientes del Sol y que penetran la atmósfera. El O al desexcitarse irradia mayoritariamente en verde y rojo y el N en violeta.

**CAMPO MAGNÉTICO:** Es el responsable de las fuerzas magnéticas que junto con el Campo Eléctrico (*fuerzas eléctricas*) dan lugar al Campo Electromagnético.

**CINTURÓN DE KUIPER y NUBE DE OORT:** El **Cinturón de Kuiper** es una región que contiene gran cantidad de pequeños cuerpos helados (*compuestos principalmente de hielo*) que orbitan alrededor del Sol a una distancia de entre 30 y 100 UA, por lo que son llamados transneptunianos (*Neptuno está a 30 UA*). Actualmente se considera la fuente de los cometas de período corto, donde los mayores descubiertos hasta ahora poseen tamaños de entre 100 y 1.000 kilómetros de diámetro. Se estima que la cantidad y tamaños de estos objetos es mucho mayor a los que orbitan en el Cinturón Principal. Los cometas que nos visitan cerca de la eclíptica provienen de este cinturón, en cambio los que aparecen de cualquier lado y siempre son de período largo (*en realidad muy largo*) vendrían de lo que se conoce como **Nube de Oort** que se encontraría a unas 30.000 UA rodeando en forma esférica todo el Sistema Solar.

**CINTURÓN PRINCIPAL:** Es una región mayoritariamente de asteroides y meteoritos comprendida entre las órbitas de Marte y Júpiter. Los cinco objetos de mayor masa son Ceres, Palas, Vesta, Higia y Juno. Ceres es el más masivo de todos con aproximadamente 1.000 km de diámetro medio (*comparar con la Luna que tiene 3.500 km y Plutón 2.300 km*).

**CONDRIAS (o CONDRIITOS):** Son meteoritos o asteroides rocosos que no han sufrido procesos de fusión o de diferenciación desde su origen. Su conocimiento aporta claves importantes para comprender el origen y la edad del Sistema Solar, la síntesis de compuestos orgánicos, el origen de la vida y la presencia de agua en la Tierra. Una de sus características es la presencia de cóndrulos, que son esferas mayoritariamente submilimétricas formadas por distintos minerales. Las condritas tienen un aspecto muy diferente del de cualquier roca de origen terrestre.

**EFFECTO DOPPLER:** Consiste en la variación de la frecuencia, que percibe un observador, de cualquier tipo de onda (*mecánica, electromagnética, sonora, etc.*) que emite una fuente en movimiento respecto al receptor. En astronomía el Efecto Doppler tiene una importancia capital ya que mediante él se puede calcular la dirección y la velocidad a que se mueve un cuerpo celeste.

**ENANA BLANCA:** Cuando una estrella, originalmente como nuestro Sol (*o hasta ocho veces su masa*), está en la etapa final de su fase de Gigante Roja, su núcleo se contrae a la vez que el resto se expande terminando arrojado al espacio transformándose en una Nebulosa Planetaria. Dentro de la Nebulosa Planetaria el núcleo de la antigua estrella se sigue enfriando y contrayendo para terminar dando origen a una estrella que se conoce como Enana Blan-

ca. El tamaño de esta Enana Blanca será del orden del de la Tierra pero su masa similar a la del Sol con una densidad enorme: 1.000 kg/cm<sup>3</sup>. La estructura de la Enana Blanca, al estar la materia tan comprimida, lleva a que los átomos pierdan sus electrones quedando desnudos en un mar de electrones libres. Una Enana Blanca es estable por la presión que ejercen esos electrones al intentar mantener su estado cuántico. Esta presión sostiene la estrella e impide que la colapse la gravedad, se llama presión de degeneración electrónica y es el límite que impone la mecánica cuántica a la compresión de un gas de electrones.

Para estrellas de masa elevada, desde nueve hasta unas cuarenta veces la del Sol, la evolución es convertirse sucesivamente en Supergigante Azul, Amarilla y Roja (*el color depende del enfriamiento de la estrella*), para acabar estallando en Supernova y su núcleo convertirse en una Estrella de Neutrones. Lo que sucede es que, al crecer tanto la densidad, se acaban combinando los electrones con los protones formando neutrones. Si la masa es mayor a unas cuarenta veces la del Sol, la evolución pasa por formar una Supergigante Azul y su muerte acabar en una Meganova que seguramente dará lugar a un Agujero Negro.

**ENANA NEGRA:** Después de muchísimo tiempo las enanas blancas terminan dejando de brillar (*por enfriamiento*) y se convierten en enanas negras, muy difíciles de observar por prácticamente no emitir radiación. Por tal motivo son unas de las postulantes a ser parte de la materia oscura. Pero se afirma que el Universo no es todavía lo suficientemente viejo como para que el número de estos objetos sea relevante.

**ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO:** Separación de una onda electro-

magnética en sus frecuencias (*o longitudes de ondas*) componentes. Por razones prácticas se las separa en bandas desde las más bajas frecuencias a las más altas: radiofrecuencia, microonda, infrarrojo, visible, ultravioleta, rayos X y rayos gama. Se cree que el límite para la longitud de onda más pequeña posible es la longitud de Planck mientras que el límite máximo sería el tamaño del Universo, aunque formalmente el espectro electromagnético se considera infinito y continuo. Cada onda lleva asociada una energía, a mayor frecuencia mayor es la energía transportada.

**FERMIONES Y BOSONES:** Son las partículas elementales (*ya no divisibles*) que constituyen el Universo y se separan en esos dos grupos: a) **Fermiones:** constituyen la materia propiamente dicha, obedecen a la Estadística de Fermi-Dirac, tienen espín  $\frac{1}{2}$ , cumplen con el Principio de Exclusión de Pauli y son 12: 6 Quarks (u up, d down, c charm, s strange, t top y b bottom) y 6 Leptones (electrón, muón, tauón, electrón neutrino, muón neutrino y tauón neutrino); b) **Bosones:** son los constituyentes de los campos de fuerza o de interacciones entre las partículas, obedecen a la Estadística de Bose-Einstein, tienen espín 1, no cumplen con el Principio de Exclusión de Pauli, y son 4: fotón, gluón, Z y W. La reciente partícula de Higgs, pasaría a ser el quinto bosón si es que realmente se comprueba que es una partícula elemental (*por el momento falta determinar experimentalmente con real certeza varias propiedades, como si realmente no es divisible en otros componentes, si hay uno solo o son varios, su masa, su vida media, si su espín es cero como predice el Modelo Estándar, etc.*).

**FLUJOS PIROCLÁSTICOS:** Cualquier fragmento sólido de material volcánico expulsado en una erupción.

**FOTÓN:** Partícula elemental (Bosón) portadora de todas las formas de radiación electromagnética, rayos gamma, rayos X, ultravioleta, luz visible, infrarrojo, microondas y ondas de radio. Tiene masa invariante cero, y viaja en el vacío con una velocidad constante de 299.792,46 km/s.

**GIGANTE ROJA:** Estrella de gran tamaño y baja temperatura superficial que atraviesa su fase final y está próxima a consumir todo su combustible (*hidrógeno*). En las estrellas simplemente por gravedad los núcleos de helio, más masivos que los de hidrógeno, a medida que se forman se van acumulando en el centro del núcleo, desplazando hacia afuera los de hidrógeno. El proceso de fusión continúa ahora en una capa que rodea el núcleo (*a esta capa se la denomina "hydrogen burning shell" - HBS*), donde la concentración de helio es menor y haciendo que ahora la temperatura sea mayor en esta capa ya que es donde se produce la fusión. Allí el proceso de fusión de hidrógeno es estimulado y en consecuencia acelerado por este incremento de temperatura, mientras el centro del núcleo con helio está más frío y se sigue contrayendo bajo el efecto de la gravedad aumentando fuertemente la densidad. En la HBS la producción de energía repercute en un aumento de la presión que supera a la presión gravitatoria y por tanto comienza a expandirse empujando y transmitiendo calor a las capas más exteriores que se dilatan. El área superficial de la estrella crece tan rápidamente, que aún el aumento en la producción de energía no es suficiente para calentar la Fotosfera que se enfría progresivamente. La estrella entonces empieza a brillar con un color que se torna rojizo y por eso se llama Gigante Roja que por dicha dilatación puede alcanzar dimensiones de hasta más de 100 veces la original.

Esto sucede con estrellas originariamente chicas (*las que poseen masas menores a 8 o 10 veces las del Sol*) donde su núcleo terminará convirtiéndose en una Enana Blanca y luego de mucho tiempo (*al terminar de enfriarse*) en Enana Negra. En cambio si la estrella originariamente posee masas mayores, lo más probable es que no se transforme en Gigante Roja sino en una Súpergigante Azul y termine sus días en forma explosiva como Supernova o Meganova y su núcleo se convierta en una Estrella de Neutrones o en un Agujero Negro.

**LAHAR:** flujo de sedimentos, hielo, nieve y agua que se moviliza por las laderas de un volcán que antes de entrar en actividad estaba cubierto de hielo y/o nieve.

**LONGITUD DE PLANCK:** Es la distancia más pequeña posible entre dos puntos del espacio en que las fuerzas del universo pueden actuar. Por debajo de esa longitud las leyes de la física conocidas dejan de cumplirse, por lo que no tiene sentido hablar de movimiento ni por lo tanto de tiempo. Se denota mediante el símbolo  $\ell_p$  y su valor es  $1,6 \times 10^{-35}$  m.

**MANCHA SOLAR:** Es una región de la superficie del Sol con una temperatura más baja que sus alrededores y con una intensa actividad magnética. Una mancha solar típica consiste en una región central oscura llamada "umbra" rodeada por una "penumbra" más clara. Son la fuente de una Explosión Solar.

**METEORITOS:** En este artículo para los cuerpos celestes pequeños (*menores de 50 m de diámetro*), por razones de simplicidad y teniendo en cuenta el común decir de la gente, se usó en forma genérica únicamente el término Meteoritos. Pero la terminología adoptada en nuestros

días por los especialistas distingue tres léxicos: meteoroides, meteoros y meteoritos. Meteoroides cuando se encuentran en el espacio exterior, Meteoros cuando están atravesando la atmósfera y Meteoritos a los fragmentos encontrados cuando el Meteoroides alcanzó la superficie de la Tierra debido a que no se desintegró por completo en su trayectoria por la atmósfera.

**NEBULOSAS (o NUBES CÓSMICAS):** Son cúmulos de gas (*principalmente hidrógeno y helio*) y polvo (*el gas en cuestión puede, mediante colisiones atómicas, formar moléculas y pequeñas partículas sólidas de mayor o menor complejidad*) interestelares o planetarios.

**NEUTRINO:** Es una partícula elemental (*Fermión*) de spin  $\frac{1}{2}$ , carente de carga eléctrica y su masa invariante es sumamente pequeña, por lo menos diez mil veces menor que la del electrón. Los neutrinos son producidos en gran cantidad en el curso de los procesos term nucleares que se llevan a cabo en el interior de las estrellas. Son muy difíciles de detectar porque interactúan muy poco con la materia (*pasan a través de la materia ordinaria sin apenas perturbarla*) y para nada con las fuerzas electromagnética y nuclear fuerte, pero sí con la nuclear débil y la gravitatoria aunque muy débilmente.

**NOTACIÓN EXPONENCIAL: (de base 10):** Esta notación se utiliza para poder expresar cómodamente números muy grandes o muy pequeños. Ej.  $10^8$  corresponde a un 1 seguido de 8 ceros y  $10^{-8}$  a 1 dividido por un 1 seguido de 8 ceros.

**PANGEA:** Supercontinente formado por la unión de todos los continentes actuales que se cree existió durante las eras Paleozoica y Mesozoica y que hace unos 250 millones de años

comenzó a fracturarse y separarse con una dinámica de placas que hoy da lugar a la actual distribución de continentes.

**PERIHELIO y AFELIO:** El punto más cercano al Sol de un planeta, asteroide o cometa marca su perihelio y el más alejado su afelio.

**pH (potencial Hidrógeno):** Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. La escala de pH va de 0 a 14, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 y alcalinas las que tienen pH mayores a 7, en tanto que si su valor es 7 se considera neutra.

**POSITRÓN:** Antipartícula del electrón (*no forma parte de la materia ordinaria*). Posee las mismas características que el electrón salvo que su carga eléctrica en vez de ser negativa es positiva. Si un positrón se encuentra con un electrón se aniquilan transformando sus energías en electromagnéticas (*2 fotones, conservando de esta manera la energía y el impulso*).

**TIEMPO DE PLANCK (o CRONON):** Representa el tiempo que tarda un fotón viajando a la velocidad de la luz en atravesar una distancia igual a la Longitud de Planck y es considerado como el intervalo temporal más pequeño que puede ser medido. Se denota mediante el símbolo  $t_p$  y su valor es  $5,39 \times 10^{-44}$  s. También se considera el menor tiempo en que las leyes de la física pueden manifestarse y ser utilizadas para estudiar la naturaleza.

**UA (Unidad Astronómica):** Es una unidad de longitud usada en Astronomía igual, por definición, a 149.597.870.700 metros (*en la práctica 150 millones de km*) y equivale a la distancia media entre el planeta Tierra y el Sol.

## ■ REFERENCIAS Y LECTURAS RECOMENDADAS:

### Impresas

- Ahrens T.J. Harris A.W.(1992) Deflection and fragmentation of near-Earth asteroids. *Nature* 360, 429-433.
- Álvarez Leiva C., Macías Seda J. (2007) Manual de Procedimiento en Gestión de Crisis. Madrid, Aran Ediciones.
- Álvarez Leiva C. (2008) Manual de Atención a Múltiples Víctimas y Catástrofes. 3ra Ed. Madrid, Aran Ediciones.
- Andretta V., Telloni D., Del Zanna G. (2012) Coronal Diagnostics from Narrowband Images Around 30.4 nm. *Solar Physics* 279, 53-73.
- Andrews M.D., Howard R.A. (2001) A two-Type Classification of Lasco Coronal Mass Ejection. *Space Science Reviews* 95, 147-163.
- Arranz García P., Mendiolaogitia Pauly A. (2003) Conocer y Observar el Sistema Solar. Ed. Agrupación Astronómica de Madrid. ISBN 84-607-8033-3.
- Benaglia P. (2007) Vientos Estelares. *Ciencia e Investigación* 58, Nº 1, 27-37.
- Blaikie P., Cannon T., Davis I., Wisner B. (1995) Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres. Editado por Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Lima, Perú.
- Bobrowsky P.T., Rickman H. (Editors) (2007) Comet/Asteroid Impacts and Human Society: An

- Interdisciplinary Approach. Ed. Springer.
- Brooks B.A. (2012) Satellite data and computational modeling provide evidence for a spheroidal magma body rising within the crust below the Altiplano Plateau in the central Andes. *Science*, 338,207-208.
  - Carusi A. (1995) Asteroides y Cometas como amenaza para la Tierra. *Investigación y Ciencia* 228, 4-12.
  - Carrasco Licea E., Carramiñana Alonso A. (2005) Del Sol a los Confines del Sistema Solar. Ed. FCE, SEP y CONACyT – México.
  - Cellino A., Dell'Óro A. (2009) Asteroids: Pebbles From Heaven. *Journal of Cosmology*, 2, 356-370.
  - Chapman, C.R., Brandt, J. (1984) *The Comet Book: A Guide for the Return of Halley's Comet*. Jones and Bartlett Publishers.
  - Chapman C.R., Morrison D. (1989) *Cosmic Catastrophes*. Ed. Plenum Press. New York.
  - Chyba Ch.F., Thomas P.J., Zahnle K.J. (1993) The 1908 Tunguska Explosion: Atmospheric Disruption of a Stony Asteroid. *Nature*, 361, 40-44.
  - Fialko Y., Pearse J. (2012) Sombro Uplift Above the Altiplano-Puna Magma Body: Evidence of a Ballooning Mid-Crustal Diapir. *Science* 338, 250-252.
  - Gehrels T. (1994) *Hazards Due to Comets and Asteroids*. Ed. University of Arizona Press.
  - Gratton J. (1993) Impactos Catastróficos y Extinciones. *Ciencia e Investigación* 46, 61–79.
  - Gutierrez Buenestado P.J. (2012) *Cometas y Asteroides*. Editado por Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid.
  - Huebner W.F. (1990) *Physics and Chemistry of Comets*. Springer-Verlag, New York.
  - Lewis J.S. (1999) Comet and asteroid impact hazards on a populated Earth. Academic Press (N.Y.).
  - Love J.J. and Thomas J.N. (2013) Insignificant solar-terrestrial triggering of earthquakes. *Geophysical Research Letters* 40, Issue 4, (Article first published online: 16 march 2013) DOI: 10.1002/grl.50211.
  - Llambías E.J. (2009) *Volcanes. Nacimiento-estructura-dinámica*. Vázquez Mazzini Editores, Bs. As.
  - Maehara H. et al. (2012) Superflares on solar-type stars. *Nature* 484, 478-481.
  - Mims F.M. (1990) Manchas solares y cómo observarlas sin peligro. *Investigación y Ciencia* 167, 94-98.
  - Molist J.M. (2011) *Los Volcanes*. Editorial La Catarata (ISBN 9788483196090).
  - Moraga Gomariz E. (1999) *Genero y Desastres*. Introducción conceptual y criterios operativos. Editorial: Fundación Genero y Sociedad. Costa Rica.
  - Morrison D. (1992) The Spaceguard Survey - Protecting the earth from cosmic impacts. *Mercury* 21, 103-106.
  - Nelson I.G. (1991) *Users Guide to The Preliminary Report And Forecast of Solar Geophysical Data*. NOAA/ERL R/E/SE2. Ed. Boulder, CO.
  - Parks M.M. et al (2012) Evolution of Santorini Volcano dominated by episodic and rapid fluxes of melt from depth. *Nature Geoscience* 5, 749–754.
  - Rabinowitz D., Helin E., Lawrence K., Pravdo S. (2000) A reduced estimate of the number of kilometre-sized near-Earth asteroids. *Nature* 403, 165-166.
  - Ribas I. et al. (2010) Evolution of the Solar Activity Over Time and Effects on Planetary Atmospheres. II.  $\kappa 1$  Ceti, an Analog of the Sun when Life Arose on Earth. *Astrophysical Journal (ApJ)* 714, 384-395.
  - Schild R. (Editor in Chief) (2011) *Extinctions: History, Origins, Causes & Future of Mass Extinctions*. Kindle Edition.
  - Schrijver C.J., Siscoe G.L. (Editors) (2010) *Heliophysics II: Space Storms and Radiation: Causes and Effects*. Cambridge University Press.
  - Schrijver C.J., Siscoe G.L. (Editors) (2010) *Heliophysics III: Evolving Solar Activity and the Climates of Space and Earth*. Cambridge University Press.
  - Shepard M.K., et al. (2000) Radar observations of asteroid 2100 Ra-Shalom. *Icarus* 147: 520-529.
  - Stokes G.H., Evans, J.B. (2004) Detection and Discovery of Near-Earth Asteroids by the LINEAR Program, 35th COSPAR Scientific Assembly, 18–25 July 2004, Paris, France, p4.338.

- Stokes G.H., Evans J.B., Viggh H.E.M., Shelly F.C, Pearce E.C. (2000) Lincoln Near-Earth Asteroid (LINEAR) Program. Icarus 148, 21-28.
- Stokes, G.H., Shelly, F., Viggh, H.E.M., Blythe, M.S., Stuart, J.S. (1998) The Lincoln Near-Earth Asteroid Research (LINEAR) Program. Lincoln Laboratory Journal 11, Issue 1, 27-40.
- Stuart J.S. (2003) Observational Constraints on the Number, Albedos, Sizes, and Impact Hazards of the Near-Earth Asteroids. PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, June 2003.
- Taylor S.R. (2003) Nuestro Sistema Solar y su Lugar en el Cosmos. Ed. Akal.
- Trombka J., et al. (2000) The elemental composition of asteroid 433 Eros: results of the NEAR-Shoemaker X-ray spectrometer. Science 289, 2.101-2.105.
- Udias Vallina A., Mezcuca Rodríguez (1997) Fundamentos de Geofísica. Alianza Editorial. España.
- Vershuur G.L. (1997) Impact. The Threat of Comets and Asteroids. Oxford University Press.
- Ward S.N., Asphaug E. (2000) Asteroid impact tsunami: A probabilistic hazard assessment. Icarus 145, 64-85
- [presentaciones/p3.pdf](#)
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencia (Costa Rica): <http://www.cne.go.cr/>
- Cruz Roja Americana – Preparación para desastres: <http://www.cruzrojaamericana.org/general.asp?SN=200>
- Extinction - The Journal of Cosmology: [http://www.amazon.com/Extinctions-History-Origins-Causes-ebook/dp/B005NWHCM4/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1324417206&sr=8-1#reader\\_B005NWHCM4](http://www.amazon.com/Extinctions-History-Origins-Causes-ebook/dp/B005NWHCM4/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1324417206&sr=8-1#reader_B005NWHCM4)
- FEMA (Federal Emergency Management Agency): <http://www.fema.gov/>
- Desastres Naturales. Gobierno de España - Ministerio de Empleo y Seguridad Social (2013): <http://redsocialeducativa.euoinnova.es/pg/blog/read/665222/desastres-naturales>
- González D. La Clasificación McIntosh de las Manchas Solares: [http://dgrzar.net63.net/big\\_online/helio\\_manchasSolares.html](http://dgrzar.net63.net/big_online/helio_manchasSolares.html)
- Hiremath K.M. (2012) Seismology of the Sun: Inference of Thermal, Dynamic and Magnetic Field Structures of the Interior. Cornell University ARXIV: <http://arxiv.org/pdf/1210.0467.pdf>
- History's Most Destructive Volcanoes: [www.livescience.com/8142-history-destructive-volcanoes.html](http://www.livescience.com/8142-history-destructive-volcanoes.html)
- Huber D., et al. (2012) Fundamental properties of stars using asteroseismology from Kepler & CoRoT and interferometry from the Chara array. ARXIV: <http://arxiv.org/pdf/1210.0012.pdf>
- Medidas de prevención ante un erupción volcánica: [www.nocturnar.com/forum/estudios/479897-medidas-de-prevencion-erupcion-volcanica.html](http://www.nocturnar.com/forum/estudios/479897-medidas-de-prevencion-erupcion-volcanica.html)
- Medidas de prevención frente a las cenizas volcánicas (Chaiten): <http://www.cituc.cl/files/arc/articulos/5171089784f0dca7f94ca8.pdf>
- Medidas de seguridad en caso de erupción volcánica. National Geographic: <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/desastres-naturales/volcano-safety-tips>
- Mendez Lugo B. Desastres naturales en el mundo, compilación: [http://www.academia.edu/1021812/DESASTRES NATURALES EN EL MUNDO COMPILACION DE BERNARDO MENDEZ LUGO. REFLEXION SOBRE RESPUESTA DE CUBA A DESASTRES NATURALES UN EJEMPLO MUNDIAL RECONOCIDO POR LA UNESCO](http://www.academia.edu/1021812/DESASTRES_NATURALES_EN_EL_MUNDO_COMPILACION_DE_BERNARDO_MENDEZ_LUGO_REFLEXION SOBRE RESPUESTA DE CUBA A DESASTRES NATURALES UN EJEMPLO MUNDIAL RECONOCIDO POR LA UNESCO)
- NASA (página oficial): [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/) (en español: [www.lanasa.net/](http://www.lanasa.net/)).
- NASA - Solar Physics. The Sunspot Cycle: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>
- NASA - Spacial Missions: <http://www.nasa.gov/missions/index.html>
- Near Earth Asteroids (NEAs) - A Chronology of Milestones: <http://archive.is/Ga5U>

### On line

- Análisis de las medidas de prevención ante el riesgo natural de "tormenta solar" en el plano internacional: [http://www.proteccioncivil.org/catalogo/naturales/climaespacial/jt\\_clima%20espacial%201/](http://www.proteccioncivil.org/catalogo/naturales/climaespacial/jt_clima%20espacial%201/)

- NOAA / Space Weather Prediction Center: <http://www.swpc.noaa.gov/alerts/index.html>
- Observatorio de Clima Espacial: <https://www.facebook.com/ClimaEspacial>
- OEA (Organización de los Estados Americanos). Desastres, planificación y desarrollo: manejo de amenazas naturales para reducir los daños. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente: [www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea57s/oea57s.pdf](http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea57s/oea57s.pdf)
- ONEMI ¿Qué hacer frente a una erupción volcánica? Gobierno de Chile, Ministerio del Interior y Seguridad Pública: <http://www.onemi.cl/riesgo/erupcion-volcanica.html>
- OPS (Organización Panamericana de la Salud) (2002) [Los Volcanes y la Protección de la Salud](http://www1.paho.org/spanish/PED/volcan_guia.pdf): [http://www1.paho.org/spanish/PED/volcan\\_guia.pdf](http://www1.paho.org/spanish/PED/volcan_guia.pdf)
- OPS (Organización Panamericana de la Salud). Protección de los servicios de salud frente a erupciones volcánicas: [www.paho.org/spanish/dd/ped/gv/modulo2-1.pdf](http://www.paho.org/spanish/dd/ped/gv/modulo2-1.pdf)
- Ortiz Muñoz P. (2012) El Sistema Interagencial de Chile y Estados Unidos ante situaciones de catástrofes naturales: Visión desde la defensa nacional. Academia Nacional de Estudios Políticos y Estratégicos: <http://www.anepe.cl/wp-content/uploads/Boletin-de-Investigaci%C3%B3n-N%C2%B0-22.pdf>
- Report of the Commission to Assess the Threat to the United States from Electromagnetic Pulse (EMP) Attack Critical National Infrastructures de 2008: [http://www.empcommission.org/docs/A2473-EMP\\_Commission-7MB.pdf](http://www.empcommission.org/docs/A2473-EMP_Commission-7MB.pdf)
- SDO (Solar Dynamics Observatory): <http://science.nasa.gov/missions/sdo/>
- SPACE: [www.Space.com](http://www.Space.com)
- Supervolcanes, una amenaza imprevisible: [www.belt.es/noticiasmdb/HOME2\\_noticias.asp?id=11629](http://www.belt.es/noticiasmdb/HOME2_noticias.asp?id=11629)
- Svalgaard L.(2012) Solar Activity – Past, Present, Future: <http://wattsupwiththat.com/2012/11/11/solar-activity-past-present-future/>
- UNDRO-UNESCO. Manejo de emergencias volcánicas. Naciones Unidas, Nueva York, 1987: [www.disaster-info.net/infovolcanes/pdf/spa/doc1168/doc1168-1.pdf](http://www.disaster-info.net/infovolcanes/pdf/spa/doc1168/doc1168-1.pdf)
- Volcanes de la Tierra – Artículos de ASTRNOO: <http://www.astrnoo.com/rubriques/volcanes-es.html>
- Yellowstone Volcano Observatory: <http://volcanoes.usgs.gov/observatories/yvo/index.html>

## Recuperación de tecnologías ancestrales y sustentables en Jujuy

### La vicuña como modelo de producción sustentable

*Ciencia e historia se unen para preservar a la vicuña*

**Cazando vicuñas anduve en los cerros  
Heridas de bala se escaparon dos.**

**- No caces vicuñas con armas de fuego;  
Coquena se enoja, - me dijo un pastor.**

**- ¿Por qué no pillarlas a la usanza vieja,  
cercando la hoyada con hilo punzó ?**

**- ¿Para qué matarlas, si sólo codicias  
para tus vestidos el fino vellón ?**

**Juan Carlos Dávalos, Coquena**

Lo primero es pedir permiso a la Pachamama. Porque a ella, en la cosmovisión andina, pertenecen las vicuñas que se extienden por el altiplano de Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Una ceremonia ancestral, unida a la ciencia moderna, permite que comunidades y científicos argentinos exploten de manera sustentable un recurso de alto valor económico y social.

La vicuña es una especie silvestre de camélido sudamericano que habita en la puna. Hasta 1950-1960 estuvo en serio riesgo de extinción debido a la ausencia de planes de manejo y conservación. Desde la llegada de los españoles se comenzó con la caza y exportación de los cueros para la obtención de la fibra, que puede llegar a valer U\$600 por kilo, lo que llevo a la casi desaparición de estos animales. Por ese entonces, la población de vicuñas en América era cercana a los 4 millones de ejemplares, en 1950 no eran más de 10.000.

A fines de la década del 70 Argentina, Bolivia, Chile, Perú y Ecuador firmaron un Convenio para la conservación y manejo de la vicuña que permitió recuperar su población hasta contar en la actualidad con más de 76 mil ejemplares en nuestro país.

En Santa Catalina, Jujuy, a 3.800 metros sobre el nivel del mar, investigadores de CONICET, junto a comunidades y productores locales, han logrado recuperar una tecnología prehispánica sustentable para la obtención de la fibra de vicuña. Se trata de una ceremonia ancestral y captura mediante la cual se arrean y esquilan las vicuñas silvestres para obtener su fibra. Se denomina chaku y se realizaba en la región antes de la llegada de los conquistadores españoles. Según Bibiana Vilá, investigadora independiente de CONICET y directora del grupo Vicuñas, Camélidos y Ambiente (VICAM) *"Hoy podemos pensar en volver a hacer ese chaku prehispánico sumado a técnicas que los científicos aportamos para que las vicuñas pasen por toda esa situación sufriendo el menor stress posible. Las vicuñas vuelven a la naturaleza, la fibra queda en la comunidad, y nosotros tomamos un montón de datos científicos."*

### El chaku

El chaku es una práctica ritual y productiva para la esquila de las vicuñas. Durante el imperio inca, las cacerías reales o chaku eran planificadas por el inca en persona. En esta ceremonia se esquilaba a las vicuñas y se las liberaba nuevamente a la vida silvestre. La fibra obtenida era utilizada para la confección de prendas de la elite y su obtención estaba regulada por mecanismos políticos, sociales, religiosos y culturales. Se trata de un claro ejemplo de uso sustentable de un recurso natural. Hugo Jacobaccio, zoológico e investigador principal de CONICET, explica que *"actualmente el chaku concentra hasta 80 personas, pero durante el imperio inca participaban de a miles. Hoy las comunidades venden esa fibra a acopiadores textiles y obtienen un ingreso que complementa su actividad económica principal, el pastoreo de llamas y ovejas"*.

El proceso comienza con la reunión de todos los participantes, luego toman una soga con cintas de colores reunidos en semicírculo y arrean lentamente a las vicuñas guiándolas hacia un embudo de red de 1 km de largo que desemboca en un corral. Cuando los animales están calmados se los esquila manipulándolos con sumo cuidado para reducir el stress y se los libera. Hoy, 1500 años después del primer registro que se tiene de esta ceremonia, la ciencia argentina suma como valor agregado: el bienestar animal y la investigación científica. En tiempo del imperio Inca, el chaku se realizaba cada cuatro años, actualmente se realiza anualmente sin esquila a los mismos animales *"se van rotando las zonas de captura para que los animales renueven la fibra"* explica Jacobaccio. Según Vilá *"es un proyecto que requiere mucho trabajo pero que demuestra que la sustentabilidad es posible, tenemos un animal vivo al cual esquilamos y al cual devolvemos vivo a la naturaleza. Tiene una cuestión asociada que es la sustentabilidad social ya que la fibra queda en la comunidad para el desarrollo económico de los pobladores locales."*

Yanina Arzamendia, bióloga, investigadora asistente de CONICET y miembro del equipo de VICAM, explica que se

esquilan sólo ejemplares adultos, se las revisa, se toman datos científicos y se las devuelve a su hábitat natural. Además destaca la importancia de que el chaku se realice como una actividad comunitaria *“en este caso fue impulsada por una cooperativa de productores locales que tenían vicuñas en sus campos y querían comercializar la fibra. Además participaron miembros del pueblo originario, estudiantes universitarios y científicos de distintas disciplinas. Lo ideal es que estas experiencias con orientación productiva tengan una base científica.”*

### **Paradojas del éxito.**

La recuperación de la población de vicuñas produjo cierto malestar entre productores ganaderos de la zona. Muchos empezaron a percibir a la vicuña como competencia para su ganado en un lugar donde las pasturas no son tan abundantes. En este aspecto el trabajo de los investigadores de CONICET fue fundamental, según Arzamendia *“el chaku trae un cambio de percepción que es ventajoso para las personas y para la conservación de la especie. Generalmente el productor ve a las vicuñas como otro herbívoro que compite con su ganado por el alimento y esto causa prejuicios. Hoy comienzan a ver que es un recurso valioso y ya evalúan tener más vicuñas que ovejas y llamas. Nuestro objetivo es desterrar esos mitos”,* concluye.

Pedro Navarro es el director de la Cooperativa Agroganadera de Santa Catalina y reconoce los temores que les produjo la recuperación de la especie: *“Hace 20 años nosotros teníamos diez, veinte vicuñas y era una fiesta verlas porque habían prácticamente desaparecido. En los últimos años se empezó a notar un incremento y más próximamente en el último tiempo ya ese incremento nos empezó a asustar porque en estas fincas tenemos ovejas y tenemos llamas”. Navarro identifica la resolución de estos problemas con el trabajo del grupo VICAM: “Yo creo que como me ha tocado a mí tener que ceder en parte y aprender de la vicuña y de VICAM, se puede contagiar al resto de la gente y que deje de ser el bicho malo que nos perjudica y poder ser una fuente más productiva.”*

### **La fibra de camélido**

Además de camélidos silvestres como la vicuña o el guanaco, existen otros domesticados como la llama cuyo manejo es similar al ganado, para impulsar la producción de estos animales y su fibra, el Estado ha desarrollado dos instrumentos de fomento. En la actualidad se encuentran en evaluación varios proyectos para generar mejoras en el sector productor de fibra fina de camélidos que serán financiados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Se trata de dos Fondos de Innovación Tecnológica Sectorial destinados a la agroindustria y al desarrollo social que otorgarán hasta \$35.000.000 y \$8.000.000 respectivamente. Los proyectos destinados a la Agroindustria son asociaciones entre empresas y organismos del sector público con el objetivo de mejorar la calidad de la fibra de camélido doméstico a partir del desarrollo de técnicas reproductivas, mejoramiento genético e innovaciones en el manejo de rebaños; incorporar valor a las fibras a partir de mejoras en la materia prima o el producto final; permitir la trazabilidad de los productos para lograr su ingreso en los mercados internacionales y fortalecer la cadena de proveedores y generar empleos calificados.

La convocatoria Desarrollo Social tiene como fin atender problemas sociales mediante la incorporación de innovación en acciones productivas, en organización social, en el desarrollo de tecnologías para mejorar la calidad de vida de manera sostenible y fomentar la inclusión social de todos los sectores. Otorgará hasta \$8.000.000 por proyecto que mejore las actividades del ciclo productivo de los camélidos domésticos, la obtención y/o el procesamiento de la fibra, el acopio, el diseño y el tejido, el fieltro y la confección de productos.

